

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANNIELE MIRANDA BACILA

**USO DA LOGÍSTICA REVERSA PARA APOIAR A RECICLAGEM DE
LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS: ESTUDO COMPARATIVO
ENTRE BRASIL E ALEMANHA**

CURITIBA

2012

DANNIELE MIRANDA BACILA

USO DA LOGÍSTICA REVERSA PARA APOIAR A RECICLAGEM DE
LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS: ESTUDO COMPARATIVO
ENTRE BRASIL E ALEMANHA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, curso de pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial MAUI, Universidade Federal do Paraná, Universidade de Stuttgart e SENAI Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Klaus Fischer

Coorientador: Prof^a. Dr^a Mônica Kolicheski

Coorientador: Prof. Msc. Leandro Wiemes

CURITIBA

2012

B125u

Bacila, Danniele Miranda

Uso da logística reversa para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas: estudo comparativo entre Brasil e Alemanha. [manuscrito] / Danniele Miranda Bacila. – Curitiba, 2012. 152f. : il. ; 30 cm.

Impresso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial; Universidade de Stuttgart; SENAI/PR, 2012.

Orientador: Klaus Fischer -- Co-orientadores: Mônica Beatriz Kolichski; Leandro Wiemes.

1. Reciclagem. 2. Logística reversa. 3. Lâmpadas fluorescentes. I. Universidade Federal do Paraná. II. Fischer, Klaus. III. Kolichski, Mônica. IV. Wiemes, Leandro. V. Título.

CDD: 628.4

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me conduzido a escolher o tema desta dissertação. Somente Ele na Sua sabedoria, determina o que é importante e nos abre as portas e os caminhos para que sejamos capazes de fazer o que por Ele foi escrito.

À minha família e amigos pelo apoio, em especial aos meus pais, pelos ensinamentos e incentivos recebidos ao longo da minha vida.

Ao meu marido, pelo companheirismo, compreensão, apoio e paciência.

Ao meu orientador prof. Dr. Klaus Fischer pela confiança depositada, pela atenção, orientação e pelas contribuições concedidas.

À minha coorientadora prof^a. Dr^a. Mônica Beatriz Kolicheski, pelas orientações, direcionamentos, seriedade, pela grande dedicação a este trabalho, além de incentivos que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo e atendimento ao cronograma estabelecido.

Ao meu coorientador prof. Msc. Leandro Wiemes pelas orientações, contribuições, análises, paciência, sabedoria e pelo exemplo de dedicação à pesquisa, à docência e ao trabalho.

À prof^a. Dr^a. Daniela Neuffer pelo grande suporte durante a estadia na Alemanha, pela ajuda com o idioma alemão e pela atenção dada ao curso.

À prof^a. Msc. Marielle Feilstrecker pela disponibilidade em ouvir e pelas sugestões durante o período de aulas.

Aos demais professores deste mestrado que possibilitaram o acesso a novos conhecimentos e aprimoramento de outros já adquiridos.

A todos os colegas de mestrado pelas trocas de experiências e de conhecimento, além do tempo que convivemos juntos que foi muito especial. Agradeço especialmente, à Lucélia, Elisa, Handa e Luciano pelo período que passamos juntos durante o curso, no Brasil e na Alemanha.

A todas as empresas no Brasil e na Alemanha que abriram as portas para a realização das visitas técnicas e que contribuíram com informações essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço finalmente, a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a elaboração desta dissertação.

RESUMO

O risco ambiental de contaminação de uma única lâmpada fluorescente (LF) pode ser dito como quase nulo. Entretanto, levando em consideração que no Brasil existe uma geração anual de resíduos de LF estimada em 206 milhões de unidades e que o uso vem aumentando significativamente, principalmente, devido à política de banimento das lâmpadas incandescentes, tem-se como consequência o surgimento de uma problemática ambiental relacionada à destinação pós-consumo destes produtos. Devem-se considerar os baixos índices de reciclagem atuais. Além disso, LF contém mercúrio, um metal pesado altamente tóxico. Apesar da quantidade contida em uma lâmpada apresentar-se em miligramas, caso ocorra o rompimento de milhares de unidades, ocorre contaminação do ar, do solo e da água, ocasionando impactos ambientais irreversíveis. O objetivo deste trabalho foi demonstrar a importância da destinação adequada para LF usadas, apresentando processos de reciclagem e a estruturação da logística reversa, através de estudo comparativo entre Brasil e Alemanha. A metodologia consistiu em levantamento de dados de empresas e realização de análises para determinação do mercúrio em LF novas e usadas e em filtro de carvão ativado utilizado para reter vapor de mercúrio durante a reciclagem. Este filtro, após saturação, foi classificado como resíduo classe II. O Brasil não possui uma lei estabelecendo limites de mercúrio em LF novas. Comparando com o valor estabelecido pela diretiva da União Européia, a maioria dos resultados estaria fora dos padrões. No Brasil, a obrigatoriedade da logística reversa para LF foi instituída na Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010. Na Alemanha, a lei data de 2005 e inclui requisitos para recicladores, metas de reciclagem, critérios para o gerenciamento do sistema de retorno e limites de mercúrio por tipo de lâmpada. Atualmente existem quatro plantas recicladoras de LF na Alemanha e quatorze no Brasil, sendo o índice de reciclagem em relação à geração de resíduos estimado em 30% e 6%, respectivamente. As tecnologias de reciclagem de LF usadas conduzem a obtenção de frações com diferentes graus de pureza, o que impacta na destinação dos materiais obtidos. O vidro tem como principal destinação no Brasil à indústria de cerâmica e na Alemanha para a fabricação de novos tubos para lâmpadas. Outro diferencial consiste no envio do pó fluorescente para a recuperação dos elementos terras raras, atividade iniciada na Alemanha. O mercúrio tem diversos destinos, devido aos custos da purificação. O modelo proposto neste trabalho para a logística reversa de LF no Brasil contempla a criação de regulamentação federal específica definindo metas para coleta, reciclagem, critérios para o sistema de gestão, transporte, rotulagem ambiental, limites para o uso de mercúrio em lâmpadas e controle das destinações dos materiais. A estrutura do sistema constitui-se de uma associação para o gerenciamento da coleta, transporte e reciclagem, visando reduzir custos e a complexidade do sistema, bem como a fundação de entidade para registro das quantidades produzidas, importadas, coletadas e recicladas. Através da implantação da logística reversa com base nos fatores apresentados, possibilitaria elevar os índices de reciclagem, reduzir os impactos ambientais e promover a geração de novos negócios.

Palavras-chave: Lâmpadas fluorescentes. Mercúrio. Reciclagem. Logística reversa.

ABSTRACT

The environmental risk of contamination from a single fluorescent lamp (FL) can be irrelevant. However, taking into account that in Brazil there is an estimated waste generation per year of 206 million units of FL and that the use has increased significantly, mainly due to the policy of banning incandescent bulbs, has as consequence the appearance of an environmental problem related to the post-consumer destination of these products. The low indexes of current recycling must be considered. Furthermore, FL contain mercury, a highly toxic heavy metal. Although the amount in a lamp is in milligrams, in the event of breaking of thousands of units, it happens the contamination of air, soil and water, causing irreversible environmental impacts. This study aimed to demonstrate the importance of proper disposal for used FL, presenting the recycling processes and the structure of reverse logistics, through a comparative study between Brazil and Germany. The methodology was based on data collection from companies and mercury determination analyzes in used and new FL and in an activated carbon filter which is used to retain mercury vapor during recycling. This filter, after saturation, was classified as class II waste. Brazil does not have a law defining the mercury limits in new FL. Most of the results would be out of standards when compared with the value set by the EU directive. In Brazil, in 2010, the requirement of reverse logistics for FL was established in the Solid Waste National Policy. In Germany, the law dates from 2005 and it includes requirements for recyclers, recycling targets, the criteria for the return system management and mercury limits per lamp. Currently, there are four FL recycling plants in Germany and fourteen in Brazil. The recycling rate in relation to waste generation is around 30% for Germany and 6% for Brazil. The FL recycling technologies lead up to fractions with different degrees of purity which impacts in the disposal of the materials. In Brazil, the main destination of the glass is for the ceramics industry, and for Germany it is used in the manufacture of glass tubes for new FL. Another difference is that Germany has already started the rare earth recovery from the fluorescent powder. The destination of mercury has several possibilities, due to costs of purification. The proposed model in this study for the reverse logistics of FL in Brazil considers the creation of a federal regulation setting specific targets for collection, recycling, criteria for system management, transportation, environmental labeling, limits of the use of mercury in lamps and control of the material destinations. The system framework consists of an association to manage the activities of collection, transportation and recycling, in order to reduce costs and complexity of the system as well as the foundation of an entity to record the amounts which are produced, imported, collected and recycled. Thus, through the implementation of reverse logistics based on the factors presented, it would become possible to increase the recycling rates, reducing environmental impacts and promoting the generation of new business.

Key-words: Fluorescent lamps. Mercury. Recycling. Reverse logistics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FUNCIONAMENTO DE LÂMPADA FLUORESCENTE	19
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DE USO DOMÉSTICO POR TIPO DE LÂMPADA.....	26
FIGURA 3 - MARKET SHARE DE LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS.....	26
FIGURA 4 - CONTAINER PARA O ARMAZENAMENTO DE LF COMPACTAS.....	30
FIGURA 5 - CONTAINER PARA O ARMAZENAMENTO DE LF TUBULARES.....	30
FIGURA 6 - SISTEMA DE FINANCIAMENTO PARA LOGÍSTICA REVERSA DE LF USADAS	43
FIGURA 7 - UNIDADES DE DESTINAÇÃO DE REEE NO BRASIL	45
FIGURA 8 - SÍMBOLO PARA COLETA SEPARADA DE REEE	58
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DAS RECICLADORAS DE LF DO BRASIL	72
FIGURA 10 - COLETORES DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	73
FIGURA 11 - ESTRUTURA DO SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS NA ALEMANHA	78
FIGURA 12 - COLETOR DE LF EM PONTOS DE GRANDE CAPACIDADE	81
FIGURA 13 - COLETOR DE LF EM PONTOS DE PEQUENA CAPACIDADE	82
FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS RECICLADORAS DE LF DA ALEMANHA	85
FIGURA 15 - ETAPAS E FRAÇÕES OBTIDAS DO PROCESSAMENTO DE LF TUBULARES.....	87
FIGURA 16 - MODELO PROPOSTO PARA O BRASIL.....	104

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - EMPRESAS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE LÂMPADAS DO BRASIL	34
QUADRO 2 - TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM E DESTINAÇÃO DE LF DO BRASIL	35
QUADRO 3 - TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE LF NA ALEMANHA	36
QUADRO 4 - DESTINAÇÃO DE MATERIAIS DA RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES NA EUROPA.....	38
QUADRO 5 – CODIFICAÇÃO DAS EMPRESAS DO BRASIL E DA ALEMANHA....	69
QUADRO 6 - PRINCIPAIS ATIVIDADES DA ASSOCIAÇÃO A1	80
QUADRO 7 - COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	97
QUADRO 8 - DESTINAÇÃO DOS MATERIAIS OBTIDOS DA RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	99
QUADRO 9 - AVALIAÇÃO DA DESTINAÇÃO DE MERCÚRIO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS	118

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CUSTOS E DURABILIDADE POR TIPO DE LÂMPADA.....	21
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMUNS	22
TABELA 3 - TIPOS DE PÓ FOSFÓRICO	22
TABELA 4 - QUANTIDADE DE MERCÚRIO EM LÂMPADAS	23
TABELA 5 - ESTIMATIVA MUNDIAL DA VENDA DE LÂMPADAS EM 2003	24
TABELA 6 - PARQUE BRASILEIRO DE LÂMPADAS.....	25
TABELA 7 - COMPOSIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS	27
TABELA 8 - COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS E CUSTOS	35
TABELA 9 - ÍNDICE DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	37
TABELA 10 - COLETA ESTIMADA DE LÂMPADAS MERCURIAIS DO BRASIL	37
TABELA 11 - DADOS DE RECOLHIMENTO E TRATAMENTO DE LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS NA ALEMANHA	38
TABELA 12 - COMPOSIÇÃO DO PÓ FOSFÓRICO	40
TABELA 13 - PREÇOS DE METAIS DE TERRAS RARAS	41
TABELA 14 - MATERIAIS DA RECICLAGEM DE LF E SUA COMERCIALIZAÇÃO	44
TABELA 15 - LIMITES DE MERCÚRIO.....	54
TABELA 16 - INFORMAÇÕES GERAIS DAS RECICLADORAS DE LF VISITADAS NO BRASIL	72
TABELA 17 - INFORMAÇÕES GERAIS DAS RECICLADORAS DE LF VISITADAS NA ALEMANHA.....	85
TABELA 18 - FRAÇÕES OBTIDAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE LF	86
TABELA 19 - VALORES DOS MATERIAIS OBTIDOS DA RECICLAGEM DE LF	86
TABELA 20 - PROCESSAMENTO DE LF NO BRASIL.....	92
TABELA 21 - COMPARATIVO GERAL ENTRE BRASIL E ALEMANHA	94
TABELA 22 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LF NO BRASIL	111
TABELA 23 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LF NA ALEMANHA	112
TABELA 24 - RESULTADOS DE ANÁLISES DE MERCÚRIO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS NOVAS E USADAS.....	119
TABELA 25 - ANÁLISE DE FILTRO DE CARVÃO ATIVADO DE EQUIPAMENTO PROCESSADOR DE LÂMPADAS	121

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAS – *Atomic Absorption Spectrometry* (Espectrometria de Absorção Atômica)
ABERELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
ABILUMI – Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação
ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV – Análise de Ciclo de Vida do Produto
AICV – Análise de Impacto do Ciclo de Vida
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
B – Boro
Ba – Bário
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento
Ca – Cálcio
CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem
Ce – Cério
Cl – Cloro
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
Cu – Cobre
EAA/GVF – Espectrometria de Absorção Atômica/Gerador de Vapor Frio
EEE – Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
ELC – *European Lamp Companies Federation* (Federação de Fabricantes de Lâmpadas da Europa)
EPA – *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental)
Eu – Európio
F – Flúor
Gd – Gadolínio
GTT – Grupo de Trabalho Temático
Hg – Mercúrio
HNO₃ – Ácido Nítrico

H₂O₂ – Peróxido de Hidrogênio

ICP OES – *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivo Acoplado com Configuração Axial)

IEA – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

La – Lantânio

LED – *Light-emitting diode* (Diodo Emissor de Luz)

LF – Lâmpada (s) Fluorescente (s)

LFC – Lâmpada (s) Fluorescente (s) Compacta (s)

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

MOPP – Movimentação Operacional de Produtos Perigosos

MRT – *Mercury Recovery Technology* (Tecnologia de Recuperação de Mercúrio)

NBR – Norma Brasileira

Ni – Níquel

NR – Norma Regulamentadora

NEMA – *National Electrical Manufacturers Association* (Associação Nacional de Fabricantes de Equipamentos Elétricos)

O – Oxigênio

ONU – Organização das Nações Unidas

Mn – Manganês

P – Fósforo

PNEA – Política Nacional de Educação Ambiental

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

REEE – Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos

RLEC – *Reverse Logistics Executive Council* (Conselho Executivo de Logística Reversa)

SINPHA – Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos

Sb – Antimônio

Sn – Estanho

Sr – Estrôncio

Te – Térbio

UNEP – *United Nations Environment Programme* (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)

W – Tungstênio

WHO – *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde)

Y – Ítrio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 LÂMPADAS FLUORESCENTES	19
2.1.1 Funcionamento e tipos	19
2.1.2 Ciclo de vida	20
2.1.3 Composição	22
2.1.4 Produção e importação	24
2.2 RESÍDUOS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	27
2.2.1 Manuseio	28
2.2.2 Coletores	29
2.2.3 Impactos ambientais	31
2.3 FORMAS DE DESTINAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS	33
2.3.1 Reciclagem	34
2.3.1.1 Tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil	34
2.3.1.2 Tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes na Alemanha	36
2.3.1.3 Índices de reciclagem e destinação dos materiais	37
2.3.1.3.1 Vidro	39
2.3.1.3.2 Metais	39
2.3.1.3.3 Pó de fósforo	40
2.3.1.3.4 Recuperação de mercúrio	42
2.3.1.4 Viabilidade dos processos de reciclagem	42
2.3.2 Aterros e lixões	45
2.4 LOGÍSTICA REVERSA	46
2.4.1 Logística reversa e a reciclagem	49
2.4.2 Logística reversa e a educação ambiental	50
2.5 LEGISLAÇÃO	51
2.5.1 Brasil	52
2.5.2 Europa e Alemanha	56
3 MATERIAIS E MÉTODOS	60

3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE FABRICANTES DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	60
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE RECICLADORAS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	60
3.3	LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE TRANSPORTADORAS DE LÂMPADAS USADAS	61
3.4	PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS SOBRE LOGÍSTICA REVERSA	61
3.5	ENTREVISTAS COM ÓRGÃO DO GOVERNO, ASSOCIAÇÕES E EMPRESÁRIOS DO SETOR	62
3.6	ENTREVISTA COM DISTRIBUIDORES E COMERCIANTES DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	64
3.7	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO TEOR DE MERCÚRIO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES	64
3.8	ANÁLISE DO TEOR DE MERCÚRIO EM FILTRO DE CARVÃO ATIVADO	65
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
4.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES.....	67
4.2	MAPEAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA.....	68
4.2.1	Brasil.....	69
4.2.1.1	Empresa coletora e transportadora de lâmpadas fluorescentes.....	69
4.2.1.2	Comerciante de lâmpadas fluorescentes.....	71
4.2.1.3	Empresas destinadoras de lâmpadas fluorescentes.....	71
4.2.1.3.1	Empresa B3.....	73
4.2.1.3.2	Empresa B4.....	74
4.2.1.3.3	Empresa B5.....	75
4.2.2	Alemanha.....	77
4.2.2.1	Empresa gestora da logística reversa de lâmpadas fluorescentes	79
4.2.2.2	Empresas destinadoras de lâmpadas fluorescentes.....	85
4.2.2.2.1	Empresa A3.....	87
4.2.2.2.2	Empresa A4.....	88
4.2.2.2.3	Empresa A5.....	90
4.3	COMPARATIVO GERAL	91
4.4	PROPOSTA DE MODELO DE LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES PARA O BRASIL	104

4.5 ANÁLISE DA GERAÇÃO DE MATERIAIS COM POTENCIAL DE RECICLAGEM NO BRASIL E NA ALEMANHA.....	111
4.5.1 Potencial de recuperação dos elementos terras raras de lâmpadas fluorescentes.....	113
4.5.2 Destinação para o mercúrio obtido da reciclagem de lâmpadas fluorescentes.....	115
4.5.2.1 Análises físico-químicas do teor de mercúrio	118
4.5.2.1.1 Lâmpadas fluorescentes compactas	119
4.5.2.1.2 Filtro de carvão ativado	121
5 CONCLUSÕES	122
6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
REFERÊNCIAS	127
ANEXOS	144
APÊNDICE	151

1 INTRODUÇÃO

O risco ambiental de contaminação de uma única lâmpada fluorescente pode ser dito como quase nulo. Entretanto, levando em consideração que no Brasil existe uma geração anual de resíduos de lâmpadas fluorescentes, estimada em 206 milhões de unidades e que o uso vem aumentando significativamente, principalmente, devido à política de banimento das lâmpadas incandescentes, tem-se como consequência o surgimento de uma problemática ambiental relacionada à destinação pós-consumo destes produtos. Além disso, deve-se considerar os baixos índices de reciclagem atuais.

A reciclagem das lâmpadas que apresentam mercúrio é o processo mais eficaz para a minimização dos impactos ambientais, pois estas após o uso são 99% recicláveis. Para que essa reciclagem possa acontecer em grande escala e que sejam seguidas as legislações federais publicadas em 2010 no Brasil, deve-se utilizar do sistema de logística reversa, visando recapturar valor dos materiais e oferecer um destino ecologicamente correto.

Com a implementação adequada da gestão ambiental, muitos custos que são oriundos do descarte de resíduos poderão ser aproveitados quando se utiliza de sistemas e novas tecnologias disponíveis, que permitem a reutilização e/ou reciclagem de materiais.

A busca contínua por soluções quanto à implantação da logística reversa para lâmpadas fluorescentes usadas é uma preocupação deste setor. Cronogramas que formalizam os compromissos estão previstos para o segundo semestre de 2012, então se verifica a necessidade emergente da definição do modelo mais adequado para a consolidação desta sistemática. Neste caso, podem ser utilizados padrões europeus já consolidados e estruturados, como referência para comparativo e para proposição de um modelo mais próximo do ideal.

O processo de reciclagem de materiais corresponde a uma metodologia bem internalizada por empresas que já demonstram atitudes ecologicamente corretas. No entanto, a reciclagem de lâmpadas fluorescentes é um processo que ainda caminha a passos lentos. Mesmo a legislação pertinente não está substancialmente enraizada nos costumes da nação. Existem ações pontuais, como lojas de bricolagem e algumas indústrias que de certa forma iniciaram a logística reversa.

O trabalho em questão também se fundamenta, pois os danos ecotoxicológicos provocados pelo acúmulo e liberação de mercúrio são muito significativos e irreversíveis. Desta maneira torna-se extremamente necessário que a destinação seja conduzida de forma correta, pois no ciclo de vida do produto, é na etapa de descarte que ocorre a principal contribuição de impacto ambiental negativo das lâmpadas fluorescentes. No entanto, também é fundamental adotar práticas adequadas de manuseio, armazenamento e transporte das lâmpadas fluorescentes descartadas, bem como o procedimento no caso de quebra das lâmpadas.

A relevância deste trabalho também se caracteriza pela proposição de um modelo de gestão para lâmpadas fluorescentes usadas geradas no Brasil, considerando as legislações pertinentes e as peculiaridades do país, visando minimizar os impactos ambientais.

O estudo aqui apresentado abordou a situação do cenário atual dos fabricantes e distribuidores de lâmpadas fluorescentes em relação ao gerenciamento de seus resíduos e a logística reversa, apresentando os possíveis destinos dos materiais obtidos pela reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas.

O objeto deste estudo considera as lâmpadas fluorescentes do tipo compacta e tubular, que contêm mercúrio, pois se caracterizam pelo maior consumo em relação aos demais tipos de lâmpadas de descarga de gás e por estarem presentes em quantidades relevantes nas residências do Brasil.

A realização deste estudo tem como principal justificativa o descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes, para diferentes modalidades de aterro e lixões, ocasionando contaminações ambientais irreparáveis, devido a presença de metais pesados, como o mercúrio. A logística reversa para lâmpadas fluorescentes usadas é prevista em lei no Brasil, desde 2010. A problemática deste trabalho é referente a proposição de um modelo de logística reversa para dar suporte a reciclagem destes produtos pós-consumo. No entanto, resíduos de LF são caracterizados como perigosos, frágeis, volumosos e possuem uma ampla variedade de tipos, com diferentes tamanhos e formatos. Somando-se a este fato, os resíduos de lâmpadas fluorescentes não possuem incentivos de retorno do consumidor final e nem pontos de coleta adequados e suficientes distribuídos de acordo com a densidade populacional. Além disso, o Brasil é um país de grandes dimensões e possui como principal meio de transporte o tipo rodoviário, o qual necessita de uma série de adequações de infraestrutura para facilitar a execução de

atividades logísticas e reduzir os riscos de acidentes envolvendo o transporte de resíduos perigosos. As operações logísticas para estes tipos de resíduos são caracterizadas por uma série de documentações que variam de região para região, o que onera mais ainda esta atividade e dificulta a criação de um modelo padronizado.

Com a finalidade de contextualizar a relevância deste estudo, são apresentados no capítulo 1 os objetivos deste trabalho e no capítulo 2 a revisão de literatura. Esse capítulo aborda as características das lâmpadas fluorescentes e de seus resíduos, bem como os impactos ambientais associados. Além disso, são apresentadas as formas de destinação com foco na reciclagem, a logística reversa e as principais legislações relacionadas. O capítulo 3 demonstra os materiais e métodos utilizados para a obtenção dos resultados descritos e discutidos nos capítulos 4 (análise dos resultados), e no capítulo 5 (conclusões). Por fim, o capítulo 6 exhibe as sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância da destinação adequada de lâmpadas fluorescentes usadas, apresentando os processos e tecnologias de reciclagem e a estruturação do sistema de logística reversa, através de estudo comparativo entre Brasil e Alemanha.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar o levantamento do cenário atual da logística reversa e da reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas no Brasil e na Alemanha.

Apresentar as tecnologias e processos de reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas do Brasil e Alemanha até o presente momento.

Mapear as destinações dos materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes.

Comparar e avaliar as legislações do Brasil e da Alemanha referentes à destinação de resíduos de lâmpadas fluorescentes usadas.

Sugerir um destino adequado para os materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes, com atenção ao mercúrio.

Propor um modelo de logística reversa para lâmpadas fluorescentes usadas que possa ser adotado no Brasil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo estão abordadas as características de lâmpadas fluorescentes e seus componentes, com destaque para o mercúrio. É realizada uma breve descrição sobre o ciclo de vida do produto. Um comentário sobre a geração de resíduos de lâmpadas fluorescentes, transporte, manuseio, coletores e impactos ambientais está apresentado. Os processos e tecnologias de destinação dos resíduos de lâmpadas fluorescentes, como reciclagem e disposição em aterro também estão descritos. Estão apresentados os conceitos de logística reversa e a sua relação com a reciclagem e a educação ambiental. Para finalizar, a legislação ambiental aplicável do Brasil e da Alemanha é abordada.

2.1 LÂMPADAS FLUORESCENTES

2.1.1 Funcionamento e tipos

As lâmpadas fluorescentes tubulares são lâmpadas de descarga de baixa pressão, conforme a FIGURA 1. Consistem em um tubo de vidro revestido internamente com pó de fósforo e possui eletrodos de fios de tungstênio. Este tubo é preenchido com um ou mais gases inertes, geralmente argônio, e outro gás não inerte, mercúrio (Hg). A luz ultravioleta (UV) é emitida pela passagem de corrente elétrica entre os eletrodos, criando um arco de baixa intensidade que excita o vapor de mercúrio e produz radiação ultravioleta, a qual excita os átomos de fósforo e então ocorre a emissão de luz visível. O fator mais influente sobre a eficácia da luminosidade é a qualidade do pó de fósforo (IEA, 2006).

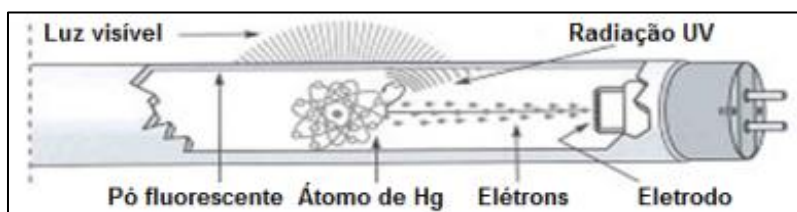


FIGURA 1 - FUNCIONAMENTO DE LÂMPADA FLUORESCENTE

FONTE: ELC (2011a)

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), os tipos de lâmpadas estão classificados em dois grandes grupos: incandescentes e de descarga. As lâmpadas incandescentes são subdivididas em lâmpadas halogênio-tungstênio e tungstênio-argônio. As lâmpadas de descarga possuem duas divisões: descarga de alta e de baixa intensidade. As lâmpadas tipo descarga de alta intensidade encontram-se subdivididas em sódio de alta pressão e mercúrio de alta pressão. Estas últimas possuem dois grupos: haletos metálicos e mercúrio de alta pressão. As lâmpadas de descarga de baixa intensidade, por sua vez, são classificadas em mercúrio de baixa pressão (fluorescentes) e sódio de baixa pressão (IEA, 2006).

As lâmpadas fluorescentes são na grande maioria compactas e tubulares, mas existem também as circulares (BASTOS, 2011).

2.1.2 Ciclo de vida

Define-se ciclo de vida do produto como as fases que abrangem desde o projeto do produto, a aquisição das matérias-primas, o ato de produzir, o consumo e o descarte final (BRASIL, 2010b).

De acordo com ABNT (2009), a análise do ciclo de vida do produto (ACV) é definida como: “Compilação e avaliação de entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida.”

A ACV leva em consideração desde a obtenção dos insumos até a destinação final do produto. Possui etapas como o inventário de entradas e saídas e AICV (avaliação de impacto do ciclo de vida) que tem foco na avaliação dos aspectos ambientais. Esta análise permite identificar oportunidades de melhoria da performance ambiental do produto nas suas fases do ciclo de vida, bem como elencar os indicadores ambientais relacionados (ABNT, 2009).

Através da ACV são definidas as matérias-primas, os processos e o tipo de embalagem. Esta ferramenta deveria ser utilizada como ferramenta para o planejamento da cadeia do fluxo reverso contribuindo dessa forma para uma produção ambientalmente correta, pois atualmente a obtenção de produtos não pode estar desvinculada dos fatores ambientais (RAZZOLINI FILHO; BERTÉ, 2009).

O projeto do produto contribui significativamente para a viabilidade técnico-econômica da reciclagem, o qual é um aspecto relevante para estruturar os canais de distribuição reversos (LEITE, 2009).

De acordo com a Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação (ABILUMI), as principais vantagens das lâmpadas fluorescentes em relação às incandescentes são a vida útil maior e o gasto energético significativamente menor (ABILUMI, 2007).

Uma lâmpada tubular, dependendo do seu tipo e do reator no qual está ligada, possui modelos com vida mediana de 10.000 h (OSRAM, 2011b). Na TABELA 1, pode ser verificado o comparativo de custos e a vida útil por tipo de lâmpada.

TABELA 1 - CUSTOS E DURABILIDADE POR TIPO DE LÂMPADA

LÂMPADAS	PREÇO DE COMPRA (EUROS)	DURABILIDADE (h)
Incandescente	1	1000
Incandescente-Halogênio	3	2000
Fluorescente Tubular	3,5	10000
Fluorescente compacta	5	10000
LEDs	8	20000
Vapor de Mercúrio	8	10000
Iodetos Metálicos	25	9000

FONTE: adaptado de COSTA (2010)

Uma análise de custos do ciclo de vida de lâmpadas fluorescentes compactas, 8 e 11 W, considerando os custos da compra da lâmpada, de consumo de eletricidade, de manutenção, de remoção e custos de tratamento dos resíduos, obteve valor de 2,60 e 3,40 Euros por ano, respectivamente (ZANGL; QUACK; BROMMER, 2010).

Um estudo do ciclo de vida de produto para lâmpadas fluorescentes de 36 W, resultante do “*retrofitting*” (renovação de edificações, visando elevar a eficiência energética) resultou em quantidades de resíduo comum, resíduo perigoso, escória e pequenas quantidades de resíduo radioativo (TECHATO; WATTS; CHAIPRAPRAT, 2009).

2.1.3 Composição

Segundo a Federação de Fabricantes de Lâmpadas da Europa (ELC), os componentes utilizados na fabricação de lâmpadas estão divididos em três grupos principais: a estrutura da lâmpada (vidro e partes de suporte metálico), a parte elétrica (eletrodo, filamento, fio, reator) e aditivos para preenchimento (gás inerte, mercúrio, sódio, haleto metálico, pó fluorescente). Segundo Raposo (2001), o material isolante das lâmpadas fluorescentes é uma resina sintética de constituição baquelítica.

A composição das lâmpadas fluorescentes é apresentada na TABELA 2. No caso das lâmpadas compactas, existem tipos com e sem reator eletrônico integrado.

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMUNS

TIPO DE LÂMPADA	EXEMPLO	PESO (g)					
		TOTAL	VIDRO	METAIS	ELETRÔNICOS	PLÁSTICO	OUTROS
Fluorescente tubular	36 W	120	115	3	-	-	2
Fluorescente compacta com reator integrado	11 W	120	65	4	25	25	1
Fluorescente compacta sem reator integrado	13 W	55	40	3	-	10	2

FONTE: adaptado de ELC (2011a)

Segundo Barthel (2012), as lâmpadas fluorescentes compactas são compostas por 88% de vidro, 5% de metal, 4% de plástico, 3% de pó fluorescente e 0,005% de mercúrio.

De acordo com Hirajima *et al.* (2005b), alguns dos tipos de pó fluorescente encontrados comercialmente são dados na TABELA 3. Verifica-se que o pó fosfórico não contém mercúrio, no seu estado original (RAPOSO, 2001).

TABELA 3 – TIPOS DE PÓ FOSFÓRICO

TIPO	FÓRMULA SIMPLIFICADA
Branco	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{F},\text{Cl})_2\cdot\text{Sb},\text{Mn}$
Vermelho	$(\text{Y},\text{Eu})_2\text{O}_3$
Verde	$(\text{La},\text{Ce},\text{Tb})(\text{P},\text{B})\text{O}_4$
Azul	$(\text{Sr},\text{Ca},\text{Ba},\text{Eu})_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$

FONTE: adaptado de HIRAJIMA *et al.* (2005b)

O mercúrio (Hg) é um metal pesado que em condições normais de temperatura e pressão está na forma de um líquido prateado (AZEVEDO, 2003). Dentre as suas propriedades, apresenta ponto de ebulição de 356, 72 °C, ponto de fusão de - 38,87 °C e densidade a 25 °C, de 13,534 g/cm³. Além disso, o mercúrio emite radiação ultravioleta (BUDAVARI, 1989). É um elemento químico que se encontra em diversas formas como: compostos orgânicos ou inorgânicos, elementar ou metálico, sendo tóxico (EPA, 2010).

Segundo Polanco (2007), o mercúrio é um componente essencial para o funcionamento das lâmpadas fluorescentes. O mercúrio está relacionado também com a longa vida útil e a eficiência energética. A quantidade deste metal pesado é medida geralmente em miligramas e tem variação por tipo de lâmpada e fabricante (NEMA, 2005).

Segundo a ABILUX as quantidades de mercúrio para determinados tipos de lâmpadas fluorescentes são dados na TABELA 4.

TABELA 4 - QUANTIDADE DE MERCÚRIO EM LÂMPADAS

TIPO DE LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	QUANTIDADE DE MERCÚRIO EM MÉDIA (g)
Fluorescente Tubular	15- 110	0,009
Fluorescente Compacta	5- 65	0,005
Luz Mista	160- 550	0,017
Vapor de Mercúrio	80- 400	0,032
Vapor de Sódio	70- 1000	0,019
Vapores Metálicos	35- 2000	0,045

FONTE: ABILUX (2008)

De acordo com Santos *et al.* (2010), uma análise realizada em amostras de lâmpadas fluorescentes compactas, na região de Curitiba, apresentou como resultados para lâmpadas novas, a quantidade de mercúrio na faixa de 1,6 a 27 mg de Hg. Para lâmpada de 15 W, tipo U, nova, o valor encontrado foi de 21 mg de Hg. No caso de lâmpadas usadas, a faixa identificada para este modelo foi de 1,6 a 4,1 mg de Hg.

2.1.4 Produção e importação

A venda mundial de lâmpadas, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) é dada conforme a TABELA 5. Para as lâmpadas fluorescentes pode-se estimar um consumo mundial de aproximadamente 4 bilhões de unidades vendidas por ano.

TABELA 5 – ESTIMATIVA MUNDIAL DA VENDA DE LÂMPADAS EM 2003

TIPO DE LÂMPADA	VENDA DE LÂMPADAS (MILHÕES DE UNIDADES)	VOLUME (%)
Incandescente	13152	72,4
Halógena	839	4,6
Fluorescente tubular	2858	15,7
Fluorescente compacta	1111	6,1
Vapor de sódio de alta pressão	68	0,4
Haleto metálico	70	0,4
Vapor de mercúrio	79	0,4
Total	18177	100

FONTE: adaptado de IEA (2006)

De acordo com a IEA (2006), as empresas que dominam o mercado internacional de lâmpadas são a Philips, Osram e General Eletric. Atualmente, a China é o país com maior volume de produção de lâmpadas do mundo.

A produção de lâmpadas fluorescentes compactas na China, em 2009, foi de 3,65 bilhões de unidades, sendo 3 bilhões destinadas à exportação. A quantidade de lâmpadas fluorescentes tubulares produzidas correspondeu a 1,67 bilhões de unidades e para o tipo circular foi de 0,18 bilhões (CHEN, 2010 *apud* HU; CHENG, 2012).

A produção de lâmpadas do Brasil é realizada por uma empresa com sede em Osasco (SP). Esta produz somente lâmpadas fluorescentes tubulares com 16, 18, 20, 32, 36 e 40 W, sendo a produção anual aproximadamente 32 milhões de unidades (OSRAM, 2011a).

Em relação à importação, a máxima estratificação para lâmpadas fluorescentes é com o código NCM (número comum do Mercosul), o qual abrange lâmpadas/tubos de descarga, fluorescentes, de cátodo quente. Obtém-se o valor de mais de 288 milhões destas unidades importadas pelo Brasil em 2011 (MDIC, 2012).

Segundo a ABILUMI são importadas anualmente 200 milhões de lâmpadas compactas fluorescentes, com índice de crescimento das importações de 10 a 15% (PRESIDENTE, 2011).

Segundo a Eletrobrás (TABELA 6), a pesquisa realizada pela PROCEL estima o parque brasileiro de lâmpadas em aproximadamente 526 milhões de unidades em uso, sendo mais de 50% deste total, lâmpadas fluorescentes e o maior uso corresponde à classe residencial (ELETROBRAS, 2009).

TABELA 6 - PARQUE BRASILEIRO DE LÂMPADAS

LÂMPADA	CLASSE RESIDENCIAL	CLASSE COMERCIAL E INDUSTRIAL	Total
Incandescentes e Fluorescentes Tubulares	239,17	23,92	263,09
Fluorescentes Tubulares	41,02	4,10	45,12
Fluorescentes Compactas	188,55	18,86	207,41
Fluorescentes Circulares	9,54	0,95	10,49
TOTAL (MILHÕES DE UNIDADES)	478,28	47,83	526,11

FONTE: ELETROBRAS (2009)

Através do Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (SINPHA), o consumo domiciliar de lâmpadas por tipo é dado pela FIGURA 2, sendo que as lâmpadas fluorescentes representam 49,3% do consumo total (ELETROBRAS, 2005).

De acordo com a ZVEI (2012), a produção de lâmpadas fluorescentes na Alemanha, em 2010, foi de 121 milhões de unidades. Segundo o Statistisches Bundesamt (2012) a produção em 2010 foi de aproximadamente 192 milhões de unidades e a importação, em 2011, cerca de 181 milhões de unidades.

Segundo a associação que representa as indústrias elétrica e eletrônica alemã, ZVEI, a maior quantidade de lâmpadas vendidas na Alemanha, entre as lâmpadas do tipo descarga, é a do tipo fluorescente tubular, conforme a FIGURA 3 (ZVEI, 2008).

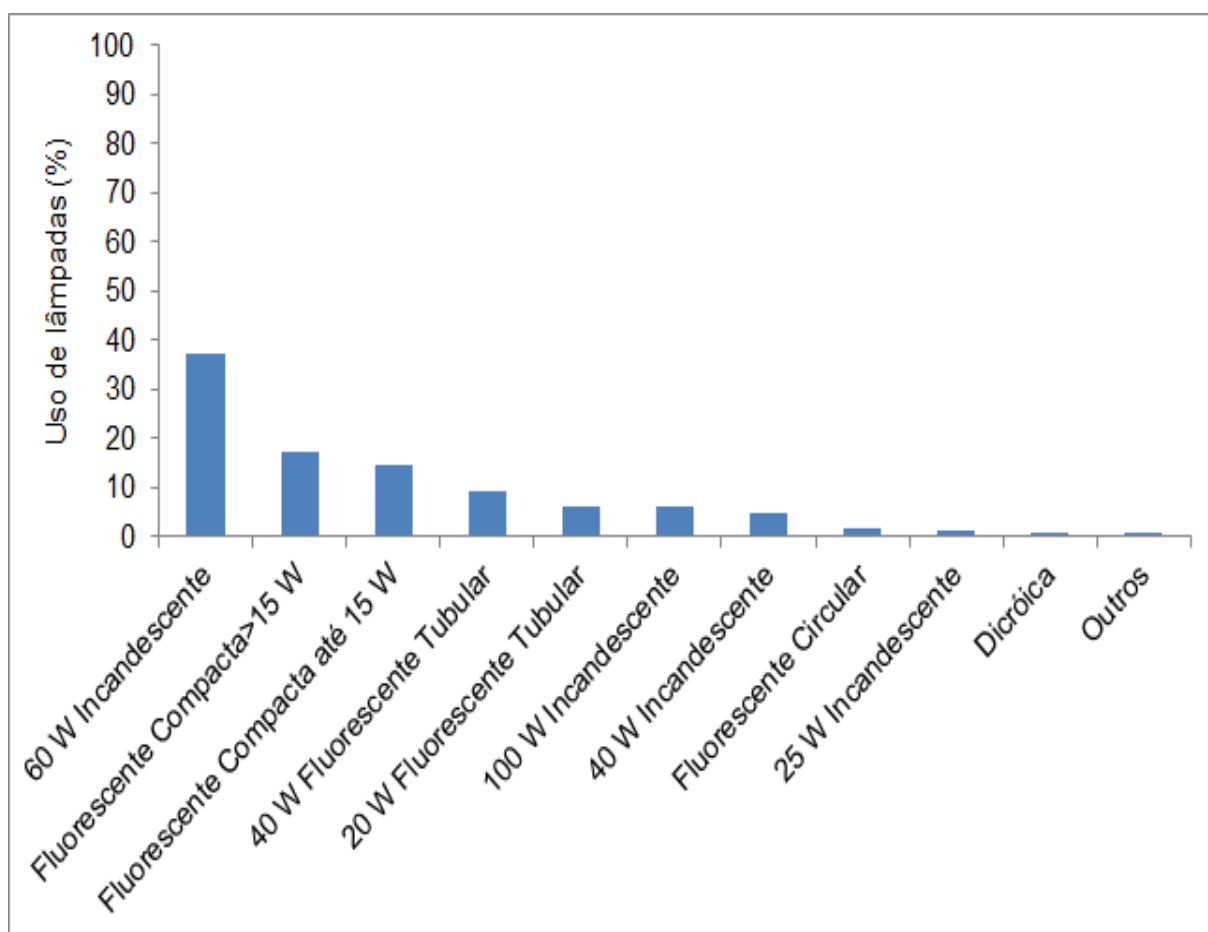


FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DE USO DOMÉSTICO POR TIPO DE LÂMPADA

FONTE: adaptado de ELETROBRAS (2005)

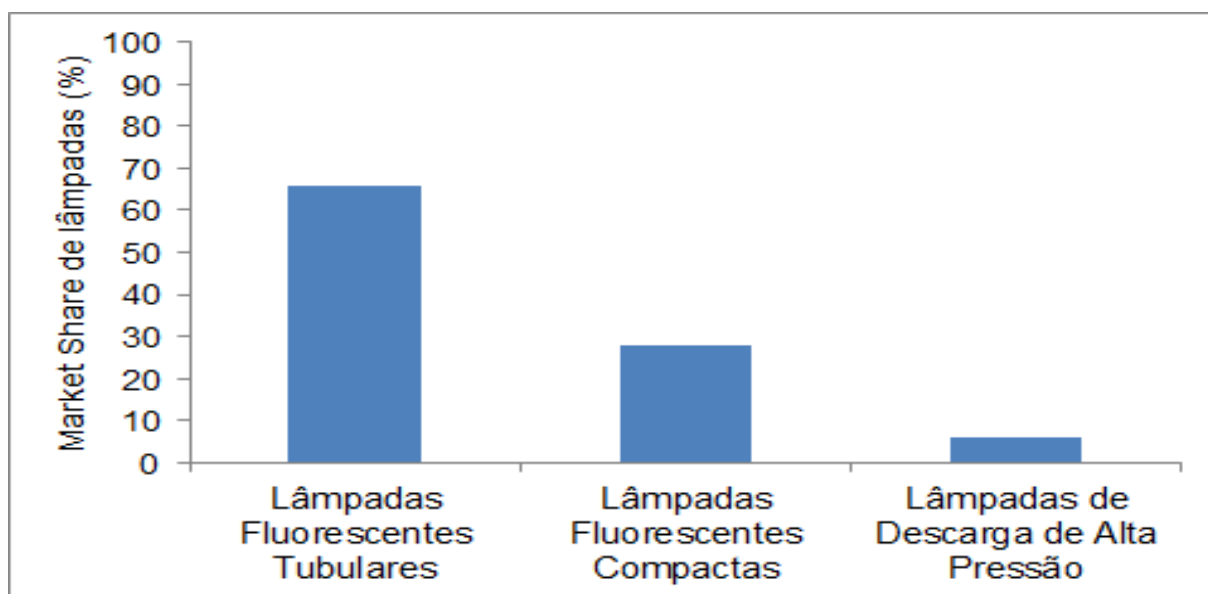


FIGURA 3 – MARKET SHARE DE LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS

FONTE: adaptado de ZVEI (2008)

2.2 RESÍDUOS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

Os resíduos de lâmpadas destacam-se cada vez mais como resíduos no ambiente urbano, devido aos avanços tecnológicos (CEMPRE, 2011b).

Estima-se que no Brasil foram geradas mais de 100 milhões de lâmpadas fluorescentes usadas no ano de 2007 (MRT SYSTEM, 2007 *apud* SANCHES, 2008) e na região sudeste, foram liberados em 1998, 539 kg de mercúrio ao meio ambiente, pelo descarte inadequado de lâmpadas contendo mercúrio (RAPOSO, 2001).

Na Alemanha, a quantidade de resíduos de lâmpadas fluorescentes tubulares e de outros contendo mercúrio, gerados no ano de 2009, que chegaram em unidades de destinação, foram 12.400 t. Em relação à destinação para aterro, foram contabilizadas 100 t em 4 aterros específicos para materiais perigosos. A quantidade destes materiais enviados para reciclagem contabilizou 2.900 t e a quantidade de mercúrio recuperado de resíduos eletroeletrônicos (REEE) foi de 100 t (STATISTICHES BUNDESAMT, 2009b).

Muitas lâmpadas, principalmente as de uso doméstico, são descartadas em locais impróprios. Os resíduos de lâmpadas fluorescentes, devido à presença de mercúrio precisam de destinação adequada. A reciclagem é muito importante nesse caso, pois dependendo da tecnologia utilizada, permite a recuperação do mercúrio, ocasionando a redução dos riscos ambientais (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008).

Após o uso das lâmpadas fluorescentes, gera-se um resíduo composto de vidro, metais, pó fosfórico e mercúrio. A composição do resíduo de lâmpadas fluorescentes usadas gerado para alguns tipos de lâmpadas é dada na TABELA 7.

TABELA 7 - COMPOSIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS

PESO	COMPRIMENTO (cm)	VIDRO	SOQUETE DE ALUMÍNIO	PÓ BRANCO	METAIS			
					Cu- Ni	BRONZE/ LATÃO	Hg	W- TUNGSTÊNIO
(g)	120	181,8	2,6	4,5	0,2	0,3	0,01	0,85
%		94,71	1,35	2,34	0,1	0,16	0,005	0,44
(g)	60	94	2,6	2,2	0,2	0,3	0,01	0,8
%		94	2,57	2,17	0,2	0,29	0,009	0,79
(g)	30 Ø circular	108,6	2,45	3,35	0,2	0,3	0,01	0,85
%		93	2,1	2,88	0,17	0,25	0,08	0,73

FONTE: adaptado de RABAH (2008)

Nas lâmpadas usadas, devido às interações entre o mercúrio, pó fosfórico e vidro, podem ser formadas espécies mais tóxicas de mercúrio, com maior mobilidade no meio ambiente, como as formas oxidadas Hg^{1+} e Hg^{2+} . A matriz de fósforo é o material mais perigoso entre os constituintes residuais das lâmpadas fluorescentes usadas, pois a concentração de mercúrio neste tipo de matriz é mais alta do que em lâmpadas novas, nas quais a forma de mercúrio predominante está na forma de vapor (RAPOSO; WINDMOLLER; DURÃO JÚNIOR, 2003).

2.2.1 Manuseio

De acordo com EPA (2011), ao se quebrar uma lâmpada contendo mercúrio, parte deste metal pesado é liberado na forma de vapor instantaneamente e a outra parte fica retida nos resíduos que também liberam o composto na forma de vapor, porém, gradativamente. Os procedimentos de limpeza quando uma lâmpada contendo mercúrio rompe, em um ambiente doméstico, são:

1. sair do ambiente no qual ocorreu a quebra ;
2. ventilar o ambiente de 5 a 10 min, abrindo janelas ou portas;
3. desligar o sistema de ar condicionado ou aquecimento, na existência de um;
4. coletar todos os resíduos com material apropriado (papelão, papel toalha úmido, lenço umedecido, fita adesiva).
5. colocar os materiais em um recipiente vedado. Segundo Stahler, Ladner e Jackson (2008), o recipiente mais adequado para conter resíduos é de material de vidro com tampa metálica;
6. direcionar o recipiente com os resíduos e materiais de limpeza imediatamente a um coletor, preferencialmente externo;
7. lavar bem as mãos;
8. manter o sistema de ar condicionado/aquecimento desligado e continuar a ventilação do local por várias horas.

É importante sair do local, no qual ocorreu a quebra da lâmpada e retornar para limpar somente após 15 min, pois durante este período ocorrem os maiores teores de liberação de mercúrio para o ar. O mercúrio também pode ficar retido no piso, dependendo do tipo de material, por exemplo, madeira e carpetes (STAHLER; LADNER; JACKSON, 2008; LIGHTCYCLE, 2012b).

Não é recomendada a utilização de aspirador de pó, pois este pode dissipar o pó da lâmpada que contém mercúrio (EPA, 2011; STAHLER; LADNER; JACKSON, 2008).

Segundo Li e Jin (2011), após a quebra de uma lâmpada fluorescente, o vapor de mercúrio pode continuar a ser liberado, por semanas. Sendo assim, importantes os cuidados no manuseio e procedimento de limpeza.

Adotando um manuseio adequado, as quebras de lâmpadas fluorescentes podem ser evitadas. Algumas práticas como: manusear a lâmpada após resfriamento do bulbo cuidadosamente e preferencialmente através da base de plástico ou cerâmica; não instalá-las em locais que as exponham a quebras e não forçar o tubo de vidro. Ao realizar a troca de uma unidade usada, através da utilização de um pano, no caso de ruptura, este material ajudará a evitar que os materiais se espalhem, reduzindo a contaminação (EPA, 2011).

No caso de ambientes industriais, procedimentos para manuseio, limpeza e estocagem de lâmpadas quando adotados e com funcionários devidamente treinados, ajuda a evitar a quebra de lâmpadas (EPA, 2009). De acordo com Oliveira *et al.* (2005), cerca de 40% das empresas certificadas na ISO 14.000 apresentam conhecimento nos cuidados de manuseio e 70% em normas de armazenagem, relativo a lâmpadas fluorescentes.

2.2.2 Coletores

De acordo com EPA (2009), os coletores destinados a armazenar e transportar lâmpadas usadas devem ser fechados, estáveis e identificados.

Considera-se importante para o funcionamento da reciclagem, a disponibilização de coletores adequados, capazes de proteger as lâmpadas durante a estocagem e transporte (SILVEIRA; CHANG, 2010).

As embalagens utilizadas para as operações logísticas podem ser retornáveis ou não. Para o fluxo reverso dos produtos usados é indicado o uso de embalagens retornáveis, pois apesar do investimento inicial ser maior se comparado com outros tipos de embalagens, elas apresentam uma razão de custo-benefício maior (RAZZOLINI FILHO; BERTÉ, 2009).

As FIGURAS 4 e 5 demonstram *containers* que podem ser utilizados para a coleta de lâmpadas fluorescentes e que possuem no seu interior um filtro de carvão ativado.



FIGURA 4 - CONTAINER PARA O ARMAZENAMENTO DE LF COMPACTAS

FONTE: adaptado de MECA COLETA (2011)



FIGURA 5 - CONTAINER PARA O ARMAZENAMENTO DE LF TUBULARES

FONTE: adaptado de MECA COLETA (2011)

Geralmente filtros de carvão ativado são utilizados para capturar o vapor de mercúrio e possibilitar a sua recuperação. De acordo com Padak e Wilcox (2009), o entendimento sobre o mecanismo de adsorção do mercúrio no carvão ativado é importante para obtenção de tecnologias de controle efetivas para o mercúrio.

Segundo Fornasaro (2010), a seleção do filtro de carvão ativado depende da afinidade química entre o material do filtro e a substância que se deseja retirar, e no caso da reciclagem, da vazão e da concentração do gás, das etapas de filtragem que estão localizadas antes do filtro de carvão ativado, da umidade relativa e da temperatura do processo. Esta última tem como recomendação máxima de 35 °C, pois pode gerar a alteração das reações químicas envolvidas, diminuindo a eficiência do filtro.

2.2.3 Impactos ambientais

Os impactos ambientais associados às lâmpadas fluorescentes ocorrem principalmente pela presença do mercúrio na sua composição.

As atividades antropogênicas que geram liberação deste metal são principalmente as usinas de carvão, além da queima de resíduos perigosos, produção de cloro e a quebra de certos produtos que contém mercúrio (EPA, 2010).

À temperatura ambiente o mercúrio volatiliza rapidamente e pode ficar na atmosfera por mais de um ano. Geralmente ele se encontra nos sedimentos no fundo dos lagos, onde é transformado na sua forma orgânica mais tóxica, chamada de metilmercúrio, a qual se acumula em tecidos de peixes (WHO, 2011a).

O mercúrio quando inalado pode ocasionar danos para o sistema nervoso, sistema digestivo, sistema imunológico, pulmões, rins e pode ser fatal. Os efeitos ocasionados à saúde provocados pelo contato com mercúrio são irreversíveis e no caso de sais de mercúrio podem ser prejudiciais à pele. As crianças são mais sensíveis quando expostas ao metal. Este metal é uma ameaça particular, principalmente para o desenvolvimento de crianças no útero (WHO, 2007).

Algumas intervenções e ações globais, recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para evitar a liberação do mercúrio para o meio ambiente e exposição dos seres humanos são: incentivar os países a definir política e legislação sobre mercúrio, realizar diagnóstico do uso e campanhas educacionais para à saúde, eliminar o uso de mercúrio onde possível, utilizar energia que não seja oriunda da queima do carvão mineral, implantar o manuseio e disposição adequados para produtos e resíduos que contém mercúrio (WHO, 2007).

Segundo Pawlowski (2011), o mercúrio representa uma ameaça para o meio ambiente global, pois é um poluente tóxico, persistente e bioacumulativo, o qual está se dispersando continuamente através da superfície terrestre. Por ser persistente, não pode ser eliminado e permanece no meio ambiente.

O mercúrio contido em lâmpadas fluorescentes pode ser liberado para as matrizes solo, ar e água. As quantidades de mercúrio liberadas nos EUA, no ano de 2000, foi de 41 t liberadas para o ar, 0,8 t para a água e 106 t para a matriz solo (CAIN *et al.*, 2007).

A inalação do mercúrio é mais perigosa do que o contato com a pele, podendo ser fatal dependendo das concentrações. Em 2010, devido ao descarte inadequado de mercúrio em um terreno municipal em São Paulo, 12 pessoas foram contaminadas, sendo 2 crianças, as quais apresentaram irritações na pele, vômitos, diarreia e febre (AKATU, 2010).

No caso de lâmpadas, estudos mostraram a conversão de mercúrio para espécies mais tóxicas deste elemento em resíduos de lâmpadas (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008). Outro estudo, demonstrou, através da captura de vapor de mercúrio de lâmpadas novas, que depois de 4 dias a quantidade de mercúrio liberada para o ambiente, por uma lâmpadas de 13 W pode alcançar até 30% do mercúrio total. Métodos para administrar à exposição do consumidor deveriam ser desenvolvidos. Foram realizados testes com sorventes, como o nano-selênio e o carvão ativado impregnado com enxofre, os quais demonstraram bons resultados para captura do vapor de mercúrio no local da liberação (JOHNSON *et al.*; 2008).

Quando uma lâmpada quebra, parte do mercúrio contido no interior da lâmpada é imediatamente liberado para o ar na forma de vapor (EPA, 2009). Além desse fato, caso ocorra a liberação de 1 mg de Hg em um local de 500 m³ e sem ventilação, por exemplo, pode-se ultrapassar em até 10 vezes o limite recomendado de exposição (JOHNSON *et al.*; 2008).

Cerca de 80% do vapor de mercúrio inalado através dos pulmões é absorvido pelo sangue (WHO, 2011b). A tolerância estimada pela OMS, para exposição após longo tempo de inalação de mercúrio elementar na forma de vapor é de 0,2 µg/m³. O limite estabelecido para o ar é de 1 µg/m³, para a água é 1 µg/L de mercúrio total e para ingestão é de 2 µg/kg peso corpóreo por dia (WHO, 2007).

De acordo com Costa (2010), uma parcela da energia ultra-violeta gerada pelo mercúrio escapa sem ser convertida em luz visível, podendo afetar pessoas com maior sensibilidade a este tipo de radiação.

Estudo realizado por Pacyna *et al.* (2010), contabiliza que as emissões mundiais de mercúrio liberadas para a atmosfera pelo setor de iluminação, em 2005, foram em torno de 1 a 2 t e os cenários previstos para 2020 estimam emissões entre 5 a 13 t.

Devido à quebra de lâmpadas fluorescentes que pode ocorrer durante o transporte, estima-se que às emissões de mercúrio liberadas para o ar nesta operação são maiores do que as ocasionadas por outras atividades, desde a sua produção até a disposição final. Entretanto, as emissões de mercúrio para o ar podem ser reduzidas através do aumento da taxa de reciclagem de lâmpadas, melhorias no sistema de transporte e armazenamento (USEPA, 1997 *apud* CAIN; *et al.*, 2007).

2.3 FORMAS DE DESTINAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS

O conhecimento da tecnologia de tratamento de lâmpadas usadas data de 1970, o qual iniciou na Suécia, através da empresa MRT (*Mercury Recovery Technology*), pioneira no assunto em questão (MOMBACH; RIELLA; KUHNEN, 2008).

No Brasil, o destino das lâmpadas usadas, geralmente, é para as diferentes modalidades de aterro, dos tipos controlados ou não. Está prática conduz ao aparecimento de passivos ambientais. Desta forma, a reciclagem dos materiais das lâmpadas fluorescentes usadas e a destinação para uso em outros negócios é a melhor opção (MOMBACH; RIELLA; KUHNEN, 2008).

Uma outra opção, avaliada para destinação de lâmpadas fluorescentes usadas é reutilização em coletores de captação de energia solar visando o aquecimento de água. A base deste coletor é composta de lâmpadas fluorescentes tubulares queimadas pintadas de preto, utilizadas como trocador de calor. Entretanto, para construir este coletor as extremidades das lâmpadas foram retiradas. O custo ficou bem abaixo de um coletor solar convencional (NAGAOKA *et al.*; 2005).

2.3.1 Reciclagem

O EPA incentiva a reciclagem de lâmpadas fluorescentes, pois este processo evita a liberação de mercúrio ao meio ambiente, o qual ocasiona diversos impactos negativos. Além disso, a reciclagem promove o reuso de materiais, minimiza a quantidade de material a ser enviada para o aterro, reduz a quantidade de emissões de gases de efeito estufa liberados e economiza energia (EPA, 2009).

De acordo com Sanches (2008) as principais etapas do processamento de lâmpadas usadas compreendem: recebimento, segregação por tipo, quantificação, operação de reciclagem, estocagem dos materiais obtidos e venda.

A seguir, serão apresentadas algumas tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes adotadas no Brasil e na Alemanha.

2.3.1.1 Tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil

As empresas que recebem lâmpadas fluorescentes usadas listadas pelo CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem), para destinação de lâmpadas fluorescentes usadas no Brasil, estão descritas no QUADRO 1.

EMPRESA	CIDADE	UF
Apliquim Equip. e Prod. Químicos Ltda	Paulínia	SP
Brasil Recicle	Indaial	SC
Bulbox - Triturador e Descontaminador de Lâmpadas Fluorescentes	Curitiba	PR
Getecno	Morro da Fumaça	SC
Mega Reciclagem de Materiais Ltda	Curitiba	PR
Rodrigues & Almeida Moagem de Vidros	Cordeirópolis	SP
Tramppo Comércio e Reciclagem de Produtos Industriais	Cotia	SP
Witzler – Engenharia Ltda	Bauru	SP
WPA Ambiental	Pato Branco	PR
ZOOM Ambiental	Pouso Alegre	MG

QUADRO 1 - EMPRESAS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE LÂMPADAS DO BRASIL

FONTE: CEMPRE (2011a)

As alternativas para destinação de lâmpadas e tratamento são: tratamento por sopro, moagem simples, moagem com tratamento químico ou térmico e solidificação/encapsulamento. As tecnologias disponíveis para reciclagem e destinação de lâmpadas fluorescentes no Brasil estão apresentadas no QUADRO 2.

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
Moagem simples, trituração ou fragmentação seca	O sistema de moagem simples realiza a ruptura das lâmpadas e através de um sistema de sucção promove a retenção de uma parcela do mercúrio contido nas lâmpadas. Sendo assim, este sistema impede que o mercúrio seja liberado para a atmosfera, mas não consegue remover a quantidade total, pois quando estas estão apagadas, parte do mercúrio fica no estado líquido no interior do vidro. Na maioria destes processos, os materiais não são separados e geralmente são destinados para aterro industrial.
Trituração com tratamento químico	A moagem com tratamento químico é constituída de duas fases principais: esmagamento e retenção do mercúrio. Neste processo é realizada a lavagem do vidro e na sequência é realizada a separação do pó de fósforo. O líquido é tratado quimicamente, sendo realizada a separação do mercúrio.
Trituração com tratamento térmico	O processo de moagem com tratamento térmico possui duas etapas principais: esmagamento e destilação de mercúrio. Esta tecnologia possibilita a recuperação do mercúrio através do aquecimento da fração contendo pó fosfórico, vaporizando o mercúrio e posterior condensação. Considera-se a melhor alternativa de tratamento, pois permite que o mercúrio seja recuperado.
Sopro	Utiliza-se o tratamento por sopro somente para lâmpadas fluorescentes tubulares. Neste caso, as extremidades são rompidas com aquecimento e resfriamento. Então, através do tubo de vidro uma corrente de ar é soprada, promovendo o arraste do pó de fósforo com mercúrio. Entretanto, como no sistema de moagem simples, o teor total de mercúrio não é removido.
Solidificação/Encapsulamento	Neste sistema, realiza-se um esmagamento e posterior encapsulamento dos materiais restantes e destinação a aterros.

QUADRO 2 – TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM E DESTINAÇÃO DE LF DO BRASIL

FONTE: adaptado de MOMBACH; RIELLA; KUHNEN (2008)

Na TABELA 8, podem ser visualizados os processos de algumas recicladoras do Brasil, localização, capacidade e custos sem transporte.

TABELA 8 - COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS E CUSTOS

EMPRESA	UF	PROCESSO	CAPACIDADE LÂMPADAS/MÊS	CUSTO EM R\$ (SEM TRANSPORTE)	
				LÂMPADA	kg
Apliquim	SP	Fragmentação seca+ recuperação térmica de Hg	400.000	0,7	-
Brasil Recicle	SC	Corte de terminais+ separação de componentes	160.000	0,45	2,56
HG Descontaminação	MG	Trituração e separação química	-	0,5	-
Megareciclagem	PR	Trituração e separação química	150.000	0,45 a 0,58	2,95
Naturalis	SP	Trituração no próprio cliente e disposição dos filtros contaminados em aterros de resíduos classe I	38.000	0,6	-
Recitec	MG	Fragmentação seca+ recuperação térmica de Hg	200.000	0,75	4
Silex	SC	Fragmentação seca+ recuperação térmica de Hg, no próprio cliente	144.000	0,55 a 0,6	3,6 a 3,7
Tramppo	SP	Sopro + recuperação térmica do Hg	120.000	0,5	-

FONTE: POLANCO (2007)

2.3.1.2 Tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes na Alemanha

As tecnologias estabelecidas para reciclagem de lâmpadas de descarga na Alemanha incluem o método de corte dos terminais (*end cut*), *shredder*, fragmentação por via úmida (*broken glass washing*), extração específica de produtos (*product-specific stripping*) e o método de separação centrífuga (*centrifugal separation method*). Alguns destes métodos podem ser conduzidos em sistemas móveis ou fixos (ZVEI, 2008). Estas tecnologias de reciclagem encontram-se descritas no QUADRO 3.

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
Corte dos terminais (<i>end cut</i>)	O processo de corte dos terminais é empregado principalmente em lâmpadas fluorescentes tubulares. Devido ao seu aprimoramento, atualmente, existem fábricas com alimentação automática de lâmpadas e que realizam a reciclagem do pó fosfórico. Após o corte das extremidades, ocorre a remoção de fósforo por sopro no interior do tubo de vidro. Na sequência, o vidro é triturado e pode ser usado para a fabricação de novas lâmpadas.
<i>Shredder</i>	Através do método de <i>shredder</i> , podem-se processar todos os tipos de lâmpadas, inclusive lâmpadas quebradas. São utilizadas peneiras para auxiliar na separação dos materiais. No método de <i>shredder</i> , o vidro pode ser obtido em três frações com diferentes granulometrias, grossa, média e fina. A fração grossa consiste no vidro que é removido da base das lâmpadas. A fração média tem partículas de 5 mm, oriunda do vidro aderido ao plástico e a fração fina contém pó de fósforo e pó de vidro. O mercúrio pode ser removido desta última fração por tratamento térmico, através do uso da destilação.
Fragmentação por via úmida (<i>broken glass washing</i>)	O método de fragmentação do vidro por via úmida pode ser aplicado para grandes volumes e para vários tipos de lâmpadas fluorescentes. A remoção do mercúrio pode ser realizada por destilação e o vidro, após secagem, é encaminhado para unidade de detecção automática de metais.
Extração específica de produtos (<i>product-specific stripping</i>)	Para fazer uso da tecnologia de extração específica de produtos, somente lâmpadas com tamanhos semelhantes podem ser processadas. Uma vantagem é a separação do mercúrio dos outros materiais, no primeiro estágio. Entretanto, uma desvantagem é a seleção manual das lâmpadas.
Separação centrífuga (<i>centrifugal separation method</i>)	O método de separação centrífuga, somente não é aplicável para lâmpadas tubulares. Geralmente, consiste em etapas de trituração, peneiramento e aquecimento dos materiais.

QUADRO 3 - TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE LF NA ALEMANHA

FONTE: adaptado de ZVEI (2008)

2.3.1.3 Índices de reciclagem e destinação dos materiais

No Brasil, existe a Associação de Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos, que possui 19 membros atuando em coleta, transporte, destinação e reciclagem de resíduos (ABETRE, 2011). Na Alemanha existe uma associação específica para recicladores de lâmpadas é a AGLV (*Arbeitsgemeinschaft Lampen Verwertung*) (ZVEI, 2008).

Conforme a TABELA 9 verifica-se que o índice de reciclagem do Brasil em 2007 foi de 6% em relação aos 100 milhões de unidades de lâmpadas fluorescentes geradas. Para a mesma quantidade gerada, a Alemanha apresentou índice de 50% (MRT SYSTEM, 2007 *apud* SANCHES, 2008).

TABELA 9 – ÍNDICE DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

PAÍS	DESCARTE (MILHÕES/ANO)	RECICLAGEM (MILHÕES/ANO)	RECICLAGEM (%)
Holanda	24	20	83,3
Suécia	14	7	50
Alemanha	100	50	50
Bélgica	12	6	50
EUA	903	220	25
Noruega	6	2	33,3
Espanha	35	5	14,3
Itália	45	5	11,1
França	50	5	10
Reino Unido	50	5	10
Brasil	100	6	6

FONTE: MRT SYSTEM (2007) *apud* SANCHES (2008)

A ABILUX (2010) estima que em 2019, conforme a TABELA 10, através da estruturação do sistema de logística reversa, os índices de coleta de lâmpadas fluorescentes previstos, estarão em torno de 32%. Para elaborar estes cenários, a vida útil das lâmpadas adotada foi de 6 anos.

TABELA 10 – COLETA ESTIMADA DE LÂMPADAS MERCURIAIS DO BRASIL

ITEM	BASE DE CÁLCULO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Coleta estimada (%)	Baseado na experiência européia	10	13	17	20	23	26	29	32
Coleta estimada (milhões de unidades)	Coleta % * vendas	13,7	22,0	33,4	41,3	54,1	66,4	87,7	109,7

FONTE: adaptado de ABILUX (2010)

Na TABELA 11 são apresentados os dados da Alemanha, relacionados às vendas, coleta, reutilização de materiais secundários e reciclagem de lâmpadas de descarga de gás, incluindo as lâmpadas fluorescentes.

TABELA 11 - DADOS DE RECOLHIMENTO E TRATAMENTO DE LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS NA ALEMANHA

ITEM	DADOS	MASSA (t)
Comercialização (t)	Massa total (t)	30246
Valores coletados (t)	Usuários domésticos	8813
	Outros usuários	134
	Total	8948
Tratamento (t)	Na Alemanha	8915
	Em outros Estados da UE	33
Reciclagem (t)	Massa total (t)	8897
	%	99,4

FONTE: adaptado de BMU (2008)

De acordo com a EU-Recycling (2011), existem na Alemanha mais de 6.000 pontos de coleta para lâmpadas fluorescentes. O índice de reciclagem em relação à geração é de aproximadamente 33% (BONMANN, 2012).

Os materiais oriundos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes podem ser classificados em quatro tipos: pó de fósforo contendo mercúrio, vidro, isolamento baquelítico e terminais de alumínio com seus constituintes ferro-metálicos (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008). O isolamento baquelítico é o único constituinte da lâmpada que não pode ser reciclado (RAPOSO, 2001).

Na Europa, segundo a Federação de Fabricantes de Lâmpadas, ELC (2011b), a destinação dos materiais, após processamento é dado pelo QUADRO 4.

MATERIAIS	CLIENTE
Vidro	Indústria de lâmpada
	Indústria de vidro
	Tijolos de concreto e de vidro
Metal	Indústria de lâmpada Aterro para resíduos perigosos
Terminal Alumínio	
Latão	
Pó fluorescente, pó de vidro (contendo mercúrio ou livre de mercúrio)	
Mercúrio após destilação	Indústria de mercúrio
	Indústria de lâmpada

QUADRO 4 - DESTINAÇÃO DE MATERIAIS DA RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES NA EUROPA

FONTE: adaptado de ELC (2011b)

O destino dos materiais obtidos após a reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas está descrito na sequência.

2.3.1.3.1 Vidro

Após descontaminação dos vidros, obtidos dos resíduos de lâmpadas fluorescentes, verifica-se que estes podem ser destinados à fabricação de fritas utilizadas para revestir cerâmica. A adição de no máximo 20% do vidro torna o processo viável, para as fritas do tipo branca e transparente (MOMBACH *et al.*; 2006). Segundo Bó, Silva e Oliveira (2009) foi possível incorporar até 40% de resíduo de vidro plano e de lâmpadas, na fabricação de vetrosas, que são materiais feitos a partir de fritas cerâmicas. Este fator permite ganhos econômicos e ambientais significativos.

De acordo com Durão Júnior e Windmöller (2008), os vidros oriundos da reciclagem de lâmpadas também podem ser utilizados para fabricação de novos vidros, com exceção dos que são empregados na indústria alimentícia. Por exemplo, pode ser utilizado para a fabricação de novos tubos de vidros para lâmpadas fluorescentes (ZVEI, 2008). Além dessas aplicações, pode ser empregado na fabricação de fibras de vidro isolantes, manta asfáltica e outros produtos (JANG; HONG; PARK, 2005).

De acordo com Jang, Hong e Park (2005), as quantidades de mercúrio e pó fosfórico residual no vidro de lâmpadas, não podem ser removidos completamente, dependendo do processo utilizado pelos recicladores. Durante a reciclagem do vidro, este mercúrio volatiliza e estas emissões podem escapar para a atmosfera, sendo então importante um controle adequado. O tratamento térmico permite a extração mais efetiva do mercúrio das lâmpadas fluorescentes, do que o tratamento ácido.

2.3.1.3.2 Metais

Após realizar a etapa de limpeza, os terminais de alumínio com seus constituintes ferro-metálicos, incluindo os pinos de latão podem ser destinados para

empresas de fundição, possibilitando a manufatura de novos produtos (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008) como soquetes para a própria indústria de iluminação.

Dependendo da tecnologia de reciclagem utilizada, de um milhão de lâmpadas fluorescentes pode ser obtido mais de 2 t de alumínio puro e aproximadamente 1 t de liga de cobre-níquel (RABAH, 2004).

2.3.1.3.3 Pó de fósforo

De acordo com Goonan (2011), os elementos terras raras utilizados para o pó de fósforo podem ser európio (Eu), térbio (Tb), ítrio (Y), gadolínio (Gd), cério (Ce) e lantânio (La).

Pode-se visualizar na TABELA 12, a presença dos elementos terras raras na composição do pó de fósforo após a retirada do mercúrio, sendo a composição variável, de acordo com o tipo de pó fosfórico utilizado.

TABELA 12 – COMPOSIÇÃO DO PÓ FOSFÓRICO

ELEMENTO	TEOR (%)	
	HIRAJIMA <i>et al.</i> (2005a)	RABAH (2008)
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	-	61,52
P_2O_5	21,00	-
Cl	0,35	-
Sb_2O_3	1,10	-
La_2O_3	2,00	-
CaO	55,00	-
CaSO_4	-	34,48
BaO	1,10	-
CeO_2	0,95	-
MnO_2	2,20	-
Y_2O_3	8,10	1,65
Tb_4O_7	0,59	-
SnO	3,90	-
Eu_2O_3	0,48	1,62
HgO	-	-
Outros	3,23	0,63

FONTE: adaptado de HIRAJIMA *et al.* (2005a) e RABAH (2008)

Segundo Barthel (2012), o pó de fósforo, que representa 3% da composição da lâmpada, é constituído de 10 a 20% de elementos terras raras, os quais possuem diversas aplicações como em cerâmica, fósforo, vidro, ligas metálicas, catalisadores e ímãs. Alguns destes usos têm crescimento expressivo previsto até 2015. Além disso, estima-se que os elementos ítrio e térbio estarão em falta no mercado em 2014.

Estudo realizado por Schüller *et al.* (2011), também descreve que além destes elementos, o európio e o lantânio estão com sua escassez prevista em pouco tempo. Entretanto, os elementos terras raras ainda não possuem substitutos para serem utilizados em pó de fósforo, em um curto período de tempo, podendo afetar outros segmentos que fazem o seu uso.

Na Alemanha, são importados anualmente, aproximadamente 1.840 t de terras raras, sendo a maior oriunda parte da China (EUROSTAT, 2010 *apud* SCHÜLER *et al.*, 2011). Uma pequena parcela é importada do Brasil, que possui 1% das reservas mundiais de terras raras, entretanto o Brasil importa estes elementos para suprir a sua demanda de mercado (DNPM, 2011).

Segundo Barthel (2012), através de processo de trituração, separação física, separação química e extração com solvente, podem ser obtidos os elementos terras raras do pó de fósforo de resíduos de lâmpadas, evitando a sua destinação para o aterro. As lâmpadas fluorescentes no geral podem ser consideradas uma mina urbana para obtenção de elementos terras raras.

Através da TABELA 13 podem ser visualizados os preços de alguns metais de terras raras.

TABELA 13 - PREÇOS DE METAIS DE TERRAS RARAS

ELEMENTO	PREÇO (\$/kg)
Európio	5.300
Térbio	4.000
Ítrio	170
Cério	80
Lantânio	70

FONTE: METAL-PAGES (2012)

2.3.1.3.4 Recuperação de mercúrio

Existem tecnologias comprovadas sobre a recuperação de mercúrio de diversos produtos, através de destilação, tratamento térmico, tratamento químico e solidificação (MUKHERJEE *et al.*, 2004).

A maior parte do mercúrio das lâmpadas fluorescentes usadas (acima de 94%) fica retida no pó fosfórico, no interior das lâmpadas ou nas matrizes de vidro (JANG; HONG; PARK, 2005). De acordo com Rey-Raap e Gallardo (2011), aproximadamente 85% do mercúrio, encontra-se no pó de fósforo, mais de 13% na matriz de vidro e menos de 1% na forma de vapor.

Avaliações indicam que o mercúrio fica fortemente aderido nas matrizes do vidro e que pode estar particionado entre outros compartimentos da lâmpada como nos terminais. Ao quebrar uma lâmpada, o pó fosfórico é liberado e possui mobilidade no meio líquido e gasoso. Sendo assim, deve ser um fator de preocupação para a saúde pública. Através de tratamento térmico, com temperaturas superiores a 400 °C é possível recuperar o mercúrio de lâmpadas fluorescentes usadas (JANG; HONG; PARK, 2005). Porém, segundo Raposo, Windmöller, Durão Júnior (2003), a temperatura para a liberação do mercúrio do vidro de lâmpadas usadas pode alcançar até 800 °C.

Para o tratamento do lodo gerado pelo processo de reciclagem, o qual rompe as lâmpadas por via úmida, utiliza-se tratamento térmico, visando realizar a destilação, remoção e recuperação do mercúrio (LACERDA; LANGE; SCHWABE, 2004).

2.3.1.4 Viabilidade dos processos de reciclagem

De acordo com Otsuki *et al.* (2006), a reciclagem de lâmpadas pode ser considerada como uma opção viável, pois pode promover a redução de futuros riscos financeiros relacionados com o descarte de resíduos perigosos.

Os custos para a destinação de lâmpadas fluorescentes para a reciclagem estão diretamente relacionados com a distância do local de geração à recicladora e

o volume gerado (RAPOSO; ROESER, 2000). Segundo Sanches (2008), a influência do fator logístico é muito considerável na viabilidade da reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas. O gerenciamento deve prever o cumprimento de requisitos legais e envolver gerador e reciclador, visando a otimização das operações logísticas de armazenamento e transporte.

Segundo a ABILUMI para realizar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes, no caso do Brasil, devido ao tamanho do país e documentação excessiva necessária para transporte de resíduos perigosos, pode-se chegar a um acréscimo de 30% do preço total do produto (PRESIDENTE, 2011).

A proposta da ABILUX (2010), para garantir a infraestrutura necessária para a logística reversa dos resíduos de lâmpadas fluorescentes, baseia-se em um sistema de financiamento, conforme mostra a FIGURA 6.

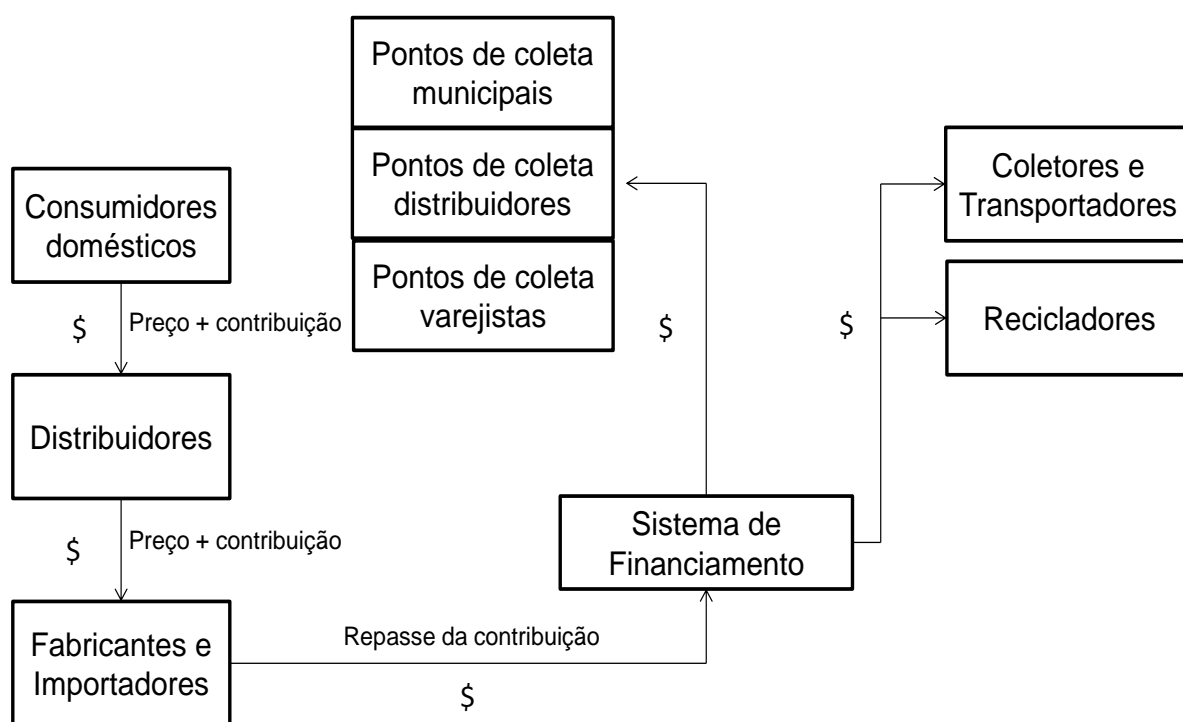


FIGURA 6 - SISTEMA DE FINANCIAMENTO PARA LOGÍSTICA REVERSA DE LF USADAS

FONTE: adaptado de ABILUX (2010)

No caso das lâmpadas fluorescentes tubulares, para a realização da destinação adequada, conforme o modelo adotado pela Europa, a contribuição para o gerenciador de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, foi equivalente a 10 vezes o lucro (em média, 0,30 Euro), incluindo serviços desde a armazenagem,

transporte até a reciclagem. No caso do Brasil, o custo somente para a reciclagem, em média, é de R\$ 0,54 (ABILUX, 2010).

Conforme mostrado anteriormente na TABELA 8, pode ser visualizado um comparativo realizado entre custos de reciclagem de lâmpadas no Brasil sem os custos adicionais de transporte, o qual em média é de R\$ 0,57.

O preço dos produtos obtidos pela reciclagem das lâmpadas deve possuir competitividade econômica em relação aos insumos virgens, que tem o potencial de ser substituídos. No caso do mercúrio, não há lucratividade em utilizar o metal obtido da reciclagem (SANCHES, 2008), como pode ser verificado na TABELA 14.

TABELA 14 - MATERIAIS DA RECICLAGEM DE LF E SUA COMERCIALIZAÇÃO

MATERIAL RECICLADO	COMPRADOR DE MATERIAL RECICLADO	VALOR DE COMPRA APROXIMADO (R\$/kg)	ECONOMIA RELATIVA À MATÉRIA-PRIMA NOVA	OBSERVAÇÃO
Metais (latão e alumínio)	Diversos	R\$ 0,90	100%	Preço de sucata
Vidro	Indústria de Cerâmica	R\$ 0,20	100%	
Mercúrio	Indústria de Termômetros e barômetros, indústria de lâmpadas fluorescentes	R\$ 1.000,00	Praticamente não existe	Preço de matéria-prima nova

FONTE: SANCHES (2008)

Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1998), o financiamento de sistemas de logística reversa ocorre por fontes variadas, podendo ser originário das indústrias, pago pelos consumidores no ato da compra ou pela combinação destas possibilidades.

De acordo com BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento), as linhas de crédito relacionadas à inovação voltadas a reciclagem, podem ser utilizadas para viabilizar a destinação de lâmpadas fluorescentes. No caso de projetos envolvendo sustentabilidade, como coleta e tratamento de resíduos, não há necessidade de envolvimento do governo e o crédito fornecido pelo BNDES corresponde em até 100% do investimento (MMA, 2010). Em contrapartida, o IPI cobrado sobre a reciclagem de produtos no geral, em 2010, foi de mais de 8 milhões de dólares (MDIC, 2011).

2.3.2 Aterros e lixões

Através do diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos, realizado no Brasil, pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, as unidades de destinação de resíduos de municípios, compreendem 674 aterros sanitários e controlados, 371 lixões e 6 aterros industriais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

A Alemanha não possui lixões, nem aterros sanitários. A legislação permite o envio de resíduos para outras classes de aterros após enquadramento em diversos parâmetros previstos em regulamento específico para aterros (ALEMANHA, 2009).

Um levantamento da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE) apresentou a informação de 16 unidades de aterros industriais para resíduos tipo classe I e 70 unidades para resíduos classe II A. No caso de destinadores para Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), o resultado foi de 35 unidades, incluindo aterros e recicladoras, conforme a FIGURA 7 (ABETRE, 2011).

No mapeamento de unidades de destinação da ABETRE (2011), algumas das empresas, caracterizam-se por unidades de aterros classe I que recebem resíduos perigosos.

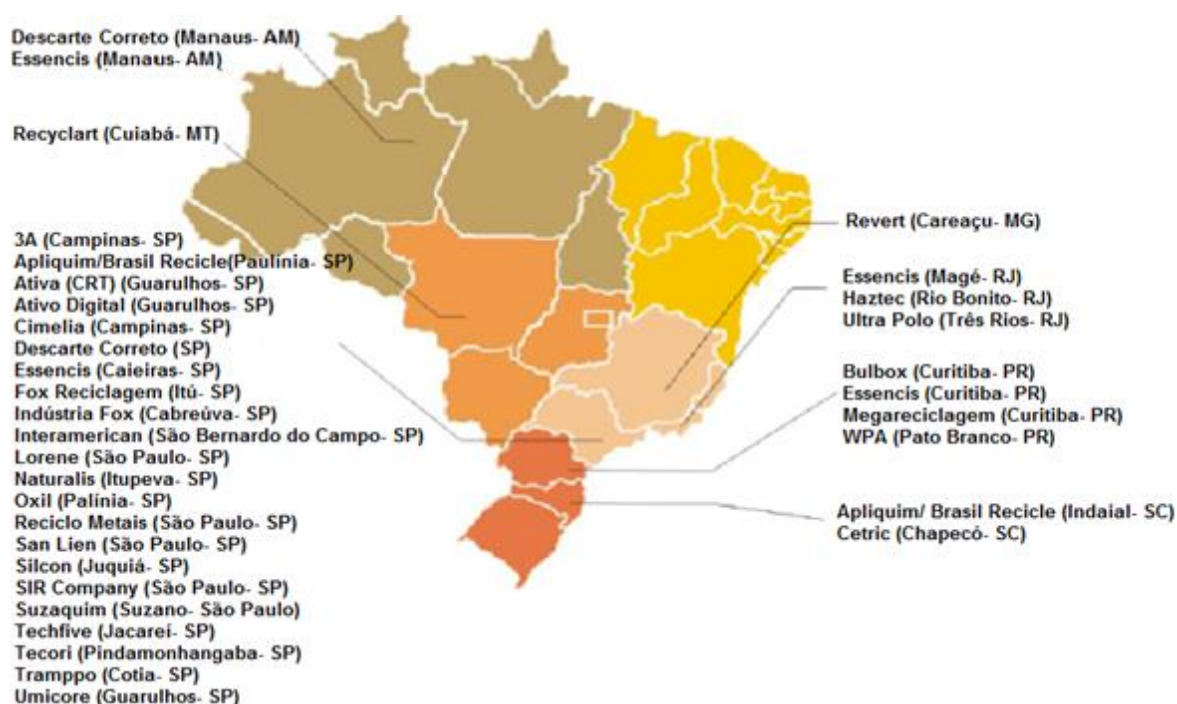


FIGURA 7 – UNIDADES DE DESTINAÇÃO DE REEE NO BRASIL

FONTE: ABETRE (2011)

De acordo com Mombach, Riella e Kuhnen (2008), apesar de existir aterros que recebem resíduos perigosos, a destinação de resíduos que possuem mercúrio para estes locais é polêmica, principalmente devido a sua característica de volatilidade, pois pode sofrer difusão através do solo e atingir a atmosfera. No caso dos outros componentes oriundos das lâmpadas fluorescentes, como vidro e alumínio, que são materiais recicláveis, o encaminhamento destes materiais para aterro é oposta ao princípio do desenvolvimento sustentável.

Estudo realizado em São Paulo demonstrou que a maioria dos consumidores, descarta as lâmpadas fluorescentes no lixo orgânico, mas consideram o local correto para disposição os postos de reciclagem e de coleta seletiva, sendo uma grande dificuldade a falta de pontos de coleta suficientes (LARUCCIA *et al.*, 2011). No Brasil, os serviços de coleta de lâmpadas fluorescentes estão presentes em 264 municípios do Brasil (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

Há três principais motivos para separar as lâmpadas contendo mercúrio do lixo orgânico. De acordo com Silveira e Chang (2010), estes motivos são:

1) as lâmpadas contendo mercúrio podem romper no aterro e vir a contaminar o solo, alcançando a água subterrânea. Até mesmo, durante a operação do aterro, o mercúrio pode ser liberado, causando exposição dos trabalhadores e comunidades vizinhas. Mercúrio também pode escapar de estações de incineração e ser liberado para a atmosfera;

2) as lâmpadas são feitas de vidro e podem quebrar facilmente expondo os usuários à riscos de saúde;

3) a existência de programas de reciclagem para lâmpadas que permitem recuperar mercúrio e outros materiais, evitando o uso de materiais virgens.

2.4 LOGÍSTICA REVERSA

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos considera-se logística reversa como:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.
(BRASIL, 2010b, p.2).

A seguir, serão apresentados outros importantes conceitos de logística reversa e suas considerações, bem como as suas interações com a reciclagem e a educação ambiental.

O órgão considerado como referência mundial para logística reversa é o *Reverse Logistics Executive Council* - RLEC. Segundo o RLEC (2011), a logística reversa é definida como:

O processo de planejamento, implementação, e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, em processo de inventário, de produtos acabados e relativo às informações do ponto de consumo ao ponto de origem com o objetivo de recapturar valor ou realizar a disposição adequada.
(Traduzido de RLEC, 2011).

A logística reversa também é conceituada como:

Área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valores de diversas naturezas: econômico, de prestação de serviços, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, dentre outros.
(LEITE, 2009, p.17).

Os conceitos apresentados são similares, mas o fator que pode ser dito como mais relevante é a utilização da logística reversa como elemento para gerar valor agregado, ou seja, recapturar valores através da reutilização de materiais oriundos de produtos usados. De acordo com Razzolini Filho e Berté (2009), os conceitos do RLEC e de Leite se diferenciam pelo fato de que a logística reversa para o RLEC, somente é considerada quando há movimentação do fluxo dos materiais no sentido a montante, ou seja, do consumidor ao ponto em que o produto foi fabricado. Entretanto, Leite considera como logística reversa também a movimentação em direção ao reaproveitamento do material em outros ciclos de negócios ou processos produtivos.

Para Leite (2009), a logística reversa possui duas categorias significativas: pós-consumo e pós-venda. A categoria de pós-venda pode ser dita como itens industriais que retornam por vários motivos aos fornecedores, mas são reincorporados ao mercado. Já a categoria de pós-consumo caracteriza-se por produtos que após o uso, se transformam em resíduos. Os canais de distribuição reversos podem ser categorizados em abertos ou fechados. Nos canais abertos ocorre retorno dos materiais de pós-consumo para novas cadeias produtivas, ou seja, para obtenção de produtos diferentes. Nos canais fechados os materiais são utilizados para a fabricação de um item similar ao original.

Os principais custos envolvidos estão relacionados ao gerenciamento das operações logísticas, à imagem corporativa e custos operacionais. Os custos de transporte podem ser reduzidos através de consolidação da carga, por exemplo. Através da remuneração gerada por alguns itens pós-consumo ocorre a estruturação natural de canais de distribuição reversos. No entanto, outros canais somente são desbloqueados através de fatores modificadores governamentais, os quais objetivam principalmente adequar à destinação final dos resíduos gerados. O efeito de regulamentações também catalisa a formação de novos negócios e parcerias do ponto logístico e tecnológico (LEITE, 2009).

Algumas estratégias da atividade logística podem ser ditas como a terceirização das atividades e a utilização de operadores logísticos. Através do uso de serviços terceirizados obtém-se a diminuição de custos e geralmente as atividades concentram-se em uma atividade como o transporte, estocagem ou armazenamento. No caso de operadores logísticos, o contrato é mais duradouro e os serviços prestados tendem a ser integrados e mais variados, possibilitando maior flexibilidade na sistemática (RAZZOLINI FILHO; BERTÉ, 2009).

Segundo Xie *et al.* (2007), dentre as dificuldades para a implantação da logística reversa comparando com a cadeia normal de distribuição, estão o recebimento de materiais variados, lotes pequenos, a operação de coleta e irregularidades do retorno. Considera-se um grande desafio o retorno dos produtos ao local em que devem ser reciclados ou ter uma disposição final adequada. Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1998), um sistema de informação adequado deve ser considerado para o gerenciamento das operações e as atividades de seleção/triagem dos materiais devem ser avaliadas. Além disso, um bom sistema de logística reversa envolve a simplificação dos procedimentos de retorno.

Segundo Leite (2009), uma visão holística da logística reversa permite a redução de inibidores da sua implantação. Então, se torna importante o conhecimento das oportunidades de retorno dos materiais, das tecnologias utilizadas para coleta e reciclagem além do controle das operações através de indicadores.

2.4.1 Logística reversa e a reciclagem

Segundo Leite (2009) existem teorias novas relacionadas ao fator econômico voltadas ao meio ambiente, isto é, ecodesenvolvimentista. Estas teorias, afirma que a sistemática de preços atuais não está coerente com a contabilização dos impactos gerados ao meio ambiente e defende a criação de taxas aos poluidores. Além disso, correlaciona a influência dos aspectos ecológicos e legais como incentivadores do acontecimento da logística reversa. De acordo com Razzolini Filho e Berté (2009), a logística deve ser um sistema flexível para poder se ajustar às pressões geradas pelos fatores ambientais e sociais emergentes.

A cadeia reversa é melhor planejada através do correto entendimento dos canais de distribuição direta. Vale a pena ressaltar, que um dos fatores causadores da poluição é o desequilíbrio entre os canais diretos e reversos de distribuição. Os fatores que favorecem ao equilíbrio são descritos como conscientização ecológica da sociedade, custos relacionados à imagem das corporações e legislações (LEITE, 2009).

O descarte de lâmpadas fluorescentes, em muitos países, realiza-se através da distribuição reversa, pela devolução da lâmpada queimada no local da compra (RAPOSO, 2001). Entretanto, estudo realizado em Pelotas (RS) demonstrou que mais de 58% dos estabelecimentos comerciais recebem as lâmpadas, mas o período de armazenamento é por tempo indeterminado e apontam o não recebimento das mesmas pelos fornecedores de lâmpadas (SAMPAIO; SÁ, 2009).

A logística reversa inclui uma grande variedade de atividades, sendo que estas podem ser divididas em: se o produto vem do usuário final ou de membro da cadeia de distribuição. O local, no qual os produtos estão inseridos no fluxo é um fator determinante para o sistema de logística reversa, assim como a definição da disposição do destino de cada produto. As questões ambientais causam grandes

impactos nas definições logísticas, pois muitos fabricantes são requeridos por lei para retornar o seus produtos após o final da vida útil. Para o retorno dos produtos, funcionam como incentivos aos consumidores, os sistemas de reembolso/depósito (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1998). Por exemplo, após legislação em vigor, a Alemanha faz uso de um sistema de depósito, chamado *Pfand*, para retorno de embalagens PET, que recebem uma marcação no rótulo. Esta determinação ocorreu visando elevar os índices de reciclagem. Desta forma, o consumidor paga de 0,25 a 0,50 de Euro a mais, dependendo do volume do item, na compra do produto e recebe este valor novamente, após realizar a devolução da embalagem usada inteira em local que possui máquina de *Pfand*. Este lugar, não precisa ser o mesmo da compra (ALEMANHA, 2008).

A reciclagem é influenciada por fatores legais, logísticos e tecnológicos. Este último torna-se indispensável para a implantação da logística reversa e caracteriza-se por aspectos como facilidade de desmontagem, de transporte e de seleção (LEITE, 2009).

2.4.2 Logística reversa e a educação ambiental

Um dos instrumentos para a realização da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a qual define a obrigatoriedade da logística reversa para lâmpadas fluorescentes, é a educação ambiental. Conforme prevê o artigo 2º, a PNRS é articulada com a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) (BRASIL, 2010b). No artigo 77 do decreto da lei que institui a PNRS, o título da seção contempla a educação ambiental, sendo fixado no parágrafo 2º que o Poder Público possui o dever de capacitar os gestores públicos, para que sejam os multiplicadores do conhecimento em relação a logística reversa, visando a redução da geração de resíduos (BRASIL, 2010b). Algumas iniciativas com o programa Desperdício Zero, no Estado do Paraná, ilustram ações relacionadas à educação ambiental sobre resíduos perigosos (SEMA, 2005).

Um dos objetivos da PNEA é incentivar a participação da sociedade, visando preservar o meio ambiente e atender demandas relacionadas a problemáticas ambientais (BRASIL, 1999). Sendo assim, na PNRS, baseando-se na

responsabilidade compartilhada, os consumidores possuem a obrigação de retornar os produtos usados, listados no *caput* da lei, aos canais de comercialização e distribuição, os quais por sua vez devem direcioná-los aos fabricantes (BRASIL, 2010b).

Pesquisa realizada em Pelotas (RS) demonstrou que 95,12% dos habitantes entrevistados têm conhecimento sobre a destinação das lâmpadas usadas para o aterro sanitário em conjunto com o lixo doméstico e que existem falhas nas informações sobre os elementos tóxicos contidos nas lâmpadas (SAMPAIO; SÁ, 2009).

Outro estudo realizado em Minas Gerais também demonstrou que os consumidores apresentaram falhas no conhecimento quanto aos perigos e impactos socioambientais que uma lâmpada contendo mercúrio pode causar. O consumo de lâmpadas fluorescentes vem aumentando desde 2001, após o episódio do “apagão” (problema de fornecimento de energia). Contudo, as políticas públicas voltadas à informação da sociedade, sobre os efeitos tóxicos do mercúrio, ainda não são claramente evidenciadas. É fundamental a inserção da educação ambiental na problemática de descarte de lâmpadas contendo mercúrio, com esclarecimentos para a sociedade, efeitos do mercúrio, medidas de segurança e de pós-consumo, como a destinação final adequada. Desta forma, com o conhecimento sobre os riscos, manuseio e reciclagem através da educação ambiental, faz com que os consumidores sejam motivados a contribuir para a destinação ecologicamente correta das lâmpadas fluorescentes através da logística reversa (CARNEIRO, 2010; NAIME; GARCIA, 2004).

2.5 LEGISLAÇÃO

As principais legislações consideradas neste estudo para o Brasil foram a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída em 2010, a resolução nº 420 da Agência Nacional de Transportes Terrestres que regulamenta o transporte de produtos perigosos, a portaria nº 32 do IBAMA que controla a importação, produção e comercialização de mercúrio metálico, e a norma NBR 10.004 que é referente a classificação de resíduos sólidos.

Para a Alemanha as principais legislações consideradas foram a lei ElektroG que trata da gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, incluindo as lâmpadas fluorescentes. Além desta lei foi avaliada a diretiva da União Européia que define limites de mercúrio para lâmpadas fluorescentes, a chamada RoHS e também foi considerado o regulamento de aterros da Alemanha.

2.5.1 Brasil

A PNRS foi instituída pela lei nº 12.305, em agosto de 2010. Esta política contempla princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações, visando à gestão adequada de resíduos. Alguns dos princípios instituídos na PNRS consistem no princípio poluidor-pagador, assim como o compartilhamento da responsabilidade pelo produto até o final da sua vida útil (BRASIL, 2010b).

De acordo com a PNRS também são definidas as prioridades na gestão dos resíduos através do artigo 9.

Art. 9º: na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.
(BRASIL, 2010b, p.6).

O decreto que operacionaliza a PNRS é o nº 7404 de 2010, o qual possui como instrumentos: termo de compromisso, acordos setoriais e regulamentos. Os acordos setoriais devem contemplar metas, cronograma e análise de impactos socioeconômicos. Através do respectivo decreto, institui-se um sistema de informações sobre resíduos sólidos, com indicadores, estatísticas e a constituição de um comitê orientador para a implantação da logística reversa. Uma das atividades deste comitê é a aprovação do estudo de viabilidade técnico-econômica (BRASIL, 2010a).

Os comitês orientadores foram empossados em 17 de fevereiro de 2011, sendo estruturados em grupos temáticos de trabalho. Em 5 de maio de 2011, foram criados 5 grupos de trabalho para implantação da logística reversa, sendo um deles o Grupo Temático de Trabalho (GTT) de Lâmpadas (MMA, 2011a).

Um dos artigos da PNRS que merece destaque é o de número 33, o qual prevê a obrigatoriedade quanto a implementação da logística reversa pelos responsáveis pela fabricação, importação, distribuição e comercialização dos seguintes produtos: lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, óleos lubrificantes, pneus, produtos eletrônicos e agrotóxicos. Os fabricantes e importadores são responsáveis pela destinação final adequada dos produtos (BRASIL, 2010b).

Conforme o artigo 54 da PNRS, os cronogramas para a realização da destinação adequada das lâmpadas fluorescentes usadas, serão estabelecidos em regulamentos (BRASIL, 2010b).

O inciso XII, do artigo 62 do decreto 6514, que trata do descumprimento das obrigações pelos responsáveis relacionadas à implantação da logística reversa, estabelece que os infratores ficam sujeitos a penalidades como multas que podem variar de 5 mil até 50 milhões de reais (BRASIL, 2008a).

Alguns estados já possuem iniciativas, em relação à criação da legislação para lâmpadas fluorescentes usadas, como o Rio Grande do Sul, Bahia e São Paulo desde 1997/98 (RAPOSO, 2000), Santa Catarina e Minas Gerais desde 2000, Espírito Santo desde 2001, Mato Grosso do Sul desde 2006, Rio de Janeiro desde 2007 e o Paraná desde 2009 (CARNEIRO, 2010). O município de Curitiba, através da lei 13.509 de 2010, iniciou o processo de logística reversa para lâmpadas fluorescentes (CURITIBA, 2010).

Segundo a Prefeitura Municipal de Curitiba (2011), a quantidade de lâmpadas fluorescentes coletadas em 2010 foi de 15 t. Após a coleta, as LF são encaminhadas para duas empresas da região especializadas no tratamento desse tipo de material.

Com exceção das lâmpadas e dos produtos eletrônicos, os demais itens do artigo 33 da PNRS já possuem regulamentação federal para a destinação dos resíduos (MMA 2011a).

No caso dos agrotóxicos, o sistema já está consolidado e é referência para outros países, possui o decreto nº 4.074 que normatiza a lei nº 7.802 de 1989, dispondo sobre aspectos relacionados à rotulagem, transporte, destinação de resíduos, embalagens, dentre outros. No caso da rotulagem dos agrotóxicos, a identificação dos perigos, instruções para manuseio e armazenamento são obrigatórios. Além disso, define-se a obrigatoriedade dos endereços dos locais para

a devolução das embalagens na nota fiscal do produto, sendo os pontos de recebimento devidamente cadastrados e licenciados (BRASIL, 2002).

Na quarta reunião de trabalho do GTT de lâmpadas foi apresentada e discutida a coletânea de informações sobre o mercúrio. Algumas das legislações pertinentes estão apresentadas na TABELA 15 (MMA, 2010).

TABELA 15 – LIMITES DE MERCÚRIO

ITEM	LIMITE DE MERCÚRIO	LEGISLAÇÃO
Água potável	0,001 mg/L	Portaria ANVISA 518/04
Solo industrial	70 mg/kg	Resolução CONAMA 420/09
Água subterrânea	1 µg/L	Resolução CONAMA 420/09 e CONAMA 396/08
Água superficial (efluentes)	0,01 mg/L	Resolução CONAMA 357/05
Segurança ocupacional	0,04 mg/m ³	Norma NR 15/08
Saúde ocupacional	0,5 µg/g de creatina	Norma NR 7/98

FONTE: MMA (2010)

Existe uma legislação federal mais recente para água superficial, a resolução do CONAMA 430/11. Nesta resolução o limite de mercúrio para lançamento de efluentes em corpo receptor permaneceu o mesmo da CONAMA 357, promulgada em 2005 (BRASIL, 2011).

A convenção da ONU sobre o uso mercúrio está prevista para ser oficializada em 2013 (MMA, 2011b). Em 2011, o representante do Ministério do Meio Ambiente do Brasil participou da reunião da ONU e defendeu a eliminação gradativa do uso do mercúrio e o seu controle. Para a realização dessa mudança a Organização das Nações Unidas pelo Meio Ambiente formou um comitê que está contribuindo nas definições para esta convenção (UNEP, 2011).

Em relação aos termômetros medidores de temperatura que contém mercúrio, o seu uso foi vetado para estes dispositivos de medição, através da portaria do INMETRO número 441 de 23 de novembro de 2011 (INMETRO, 2011). Entretanto, outros instrumentos na área de saúde, ainda utilizam mercúrio (PICKERING *et al.*, 2005).

No caso do descarte de resíduos, as lâmpadas contendo mercúrio são classificadas com o código F044 e consideradas resíduos perigosos, classe I, devido a sua toxicidade pelo conteúdo de mercúrio. A legislação estabelece que o extrato obtido no ensaio de lixiviação (NBR 10.005) apresente o limite máximo de 0,1 mg/L.

Acima desse valor, o resíduo é considerado perigoso, sendo exigida a destinação adequada (ABNT, 2004b).

Segundo a resolução de transporte de produtos perigosos:

Um resíduo que contenha um único componente considerado produto perigoso, ou dois ou mais componentes que se enquadrem numa mesma classe ou subclasse, deve ser classificado de acordo com os critérios aplicáveis à classe ou subclasse correspondente ao componente ou componentes perigosos.
(ANTT, 2004, p.36- Capítulo 2.0.2.9.1).

No caso de resíduos perigosos, os quais não se enquadram nos padrões definidos no regulamento da Agência Nacional de Transporte Terrestres (ANTT), a classificação a ser adotada é a classe 9, nº risco 90, com os códigos da ONU 3077 e 3082. O código a ser utilizado para substância no estado sólido que apresenta risco ambiental é ONU 3077 e no estado líquido é ONU 3082 (ANTT, 2004).

De acordo com a portaria 326 do INMETRO, as embalagens de produtos perigosos devem ser certificadas por entidades acreditadas pelo INMETRO e identificadas com a data de validade e de envase do resíduo, atendendo os requisitos desta portaria e da ANTT 420 (INMETRO, 2006).

A documentação para transporte contempla ficha de emergência e documento fiscal com nome, nº da ONU, classe e quantidade. O documento fiscal deve ser acompanhado por uma declaração do expedidor sobre o adequado acondicionamento, visando suportar as operações de transporte. Este documento deve ser assinado e datado pelo expedidor. O manifesto de carga pode ter essas informações incorporadas. De acordo com a categoria de resíduo perigoso é exigido um treinamento específico ao condutor da unidade de transporte (ANTT, 2004).

De acordo com a NBR 13.221: 2010, referente ao transporte para resíduos perigosos, considera-se a resolução ANTT 420 como referência normativa. Os requisitos gerais definidos nesta norma são: o veículo deve ser adequado, bem conservado, informar a forma de acondicionamento e atendimento das legislações específicas nas esferas do município, estado e federal. Para o manuseio deve ser considerada a classificação segundo a NBR 10.004 e para o armazenamento a NBR 12.235 (ABNT, 2010).

De acordo com a IEA (2006), as lâmpadas fluorescentes compactas foram projetadas para substituir as lâmpadas incandescentes.

Visando comprovar a eficiência energética das lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas foram promulgadas as portarias interministeriais nº 1.007 e 1.008. A portaria interministerial nº 1.007 de 31 de dezembro de 2010, estabelece a comercialização de lâmpadas incandescentes mediante comprovação de eficiência energética avaliada pelo INMETRO. Sendo a data limite de comercialização para as lâmpadas desta modalidade que não atenderem às especificações definidas, até 30 de junho de 2016 (MME, 2010a). Para lâmpadas fluorescentes compactas sem invólucro, a legislação que rege as metas de eficiência energética é a portaria interministerial nº 1.008, tendo até 30 de junho de 2013 a possibilidade de comercialização para lâmpadas fora do especificado nesta lei (MME, 2010b).

O selo PROCEL, uma iniciativa governamental, demonstra produtos e equipamentos que oferecem economia de energia, também tem sido utilizado para lâmpadas fluorescentes. Este selo contribui para preservação ambiental e para o desenvolvimento de tecnologias adequadas e sustentáveis (ELETROBRAS, 2011a).

Segundo Bastos (2011), a regulamentação da lei 10.295 de 2001 relacionada à eficiência energética, através da portaria interministerial nº 1.007, induz ao banimento gradativo das lâmpadas incandescentes e a substituição pelas lâmpadas fluorescentes compactas, as quais são mais eficientes do ponto de vista energético. Entretanto, um diferencial entre as lâmpadas incandescentes e fluorescentes é o teor de mercúrio existente somente nas fluorescentes, assim são importantes os cuidados no manuseio e destinação final do resíduo, devido aos impactos socioambientais que podem ocorrer pelo descarte inadequado. A quantidade de lâmpadas fluorescentes geradas por essa substituição, já demanda um sistema de logística reversa, bem como política para promover a orientação da população quanto aos riscos gerados pela exposição ao mercúrio.

2.5.2 Europa e Alemanha

Em 12 de dezembro de 1991, a lei 91/689, relacionada aos resíduos perigosos foi promulgada. Esta diretiva estabeleceu o gerenciamento deste tipo de resíduo, estando o mercúrio incluído nesta classe de resíduo (UNIÃO EUROPÉIA, 1991). Visando esclarecer conceitos e melhorias na legislação, como inserir uma

abordagem referente ao ciclo de vida do produto, a diretiva 2008/98 revogou a 91/689 e a 2006/12. O conceito de responsabilidade estendida é introduzido. A rotulagem, transporte e armazenamento de resíduos perigosos devem estar em consonância com as normas internacionais. Esta lei conceitua a gestão de resíduos, desde coletar, transportar, valorar e eliminar resíduos. Sendo a operação relacionada à valorização de resíduos, caracterizada como a transformação para um fim útil. A eliminação considera como um dos tipos a deposição em aterros e incineração. Além disso, define tratamento, como qualquer atividade relacionada a valorar ou eliminar. Os Estados-Membros devem garantir que os resíduos perigosos sejam segregados das outras classes de resíduos (UNIÃO EUROPÉIA, 2008).

Segundo a União Européia (2008, p.9): a “Reutilização consiste em, qualquer operação mediante a qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos.”

Reciclagem consiste em, qualquer operação de valorização através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins. Inclui o reprocessamento de materiais orgânicos, mas não inclui a valorização energética nem o reprocessamento em materiais que devam ser utilizados como combustível ou em operações de enchimento. (UNIÃO EUROPÉIA, 2008, p.9).

A diretiva 2002/96 relativa à gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) considera o aumento rápido da geração destes resíduos que devido a sua composição, geram preocupação em relação ao gerenciamento dos resíduos e da operação de reciclagem (UNIÃO EUROPÉIA, 2003b).

Define-se EEE como:

Equipamentos elétricos e eletrônicos ou EEE são os equipamentos cujo funcionamento adequado depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos e são destinados a utilização com uma tensão nominal não superior a 1000 V para corrente alternada e 1500 V para corrente contínua. (UNIÃO EUROPÉIA, 2011b, p. 174/91).

É estabelecido na diretiva de gestão de REEE que sobre a criação de sistemas para permitir a entrega dos resíduos de EEE, ou seja, dos REEE, sendo os pontos de recolhimento proporcionais à densidade populacional. Informações sobre

estes locais devem ser repassadas aos usuários e explicações sobre simbologias, como a da FIGURA 8 (UNIÃO EUROPÉIA, 2003b).



FIGURA 8 – SÍMBOLO PARA COLETA SEPARADA DE REEE

FONTE: UNIÃO EUROPÉIA (2003b)

A diretiva 2002/95 referente à restrição do uso de substâncias perigosas em REEE determinava como máximo de mercúrio para lâmpadas fluorescentes compactas: 5 mg de Hg. No caso dos tipos, halofosfatos: 10 mg de Hg; trifosfato de longa duração e de duração normal: 8 mg e 5 mg de Hg, respectivamente (UNIÃO EUROPÉIA, 2003a). A lei 2011/65, revogou a diretiva 2002/95, modificando e reduzindo os limites de mercúrio para lâmpadas. Os limites são dados por tipo de lâmpada e por utilização (UNIÃO EUROPÉIA, 2011b).

Devido às diretivas da União Europeia sobre os REEE, a Alemanha instituiu uma lei nacional que rege a venda, o retorno e a disposição ambientalmente adequada para estes tipos de resíduos. É chamada lei para os EEE ou *ElektroG*. Segundo a *ElektroG*, os produtores devem registrar os produtos, antes do produto ser colocado no mercado. Além disso, pelo menos 4 kg REEE/ habitante por ano, a partir de 31 de dezembro de 2006, devem ser coletados e isto deve ser realizado de forma separada dos outros resíduos. Pontos de coleta para consumidores domésticos devem ser colocados à disposição pelo poder público. Nenhuma taxa de retorno deve ser cobrada. A responsabilidade pela gestão dos resíduos de LF é dos fabricantes e importadores, sendo a participação dos distribuidores voluntária (ALEMANHA, 2005).

As autoridades devem providenciar a coleta seletiva em *containers* separados de produtos usados como lâmpadas de descarga. Os locais de armazenamento devem possuir piso impermeável e áreas cobertas. As lâmpadas devem ser protegidas durante a estocagem e transporte. Os fabricantes devem disponibilizar os coletores. Todas as operações realizadas devem favorecer o reuso, reciclagem, desmontagem e recuperação destes materiais. Auditorias externas são

exigidas para estabelecimentos que realizam o tratamento de resíduos do tipo REEE. Estas empresas de tratamento devem assegurar que a certificação anual é realizada por entidade externa autorizada. O certificado possui validade máxima de 18 meses. Para as lâmpadas de descarga o índice de reciclagem e reuso deve ser de pelo menos 80% do seu peso. É definido que o mercúrio deve ser removido e o teor de mercúrio no resíduo de vidro não deve ultrapassar 5 mg de Hg/kg vidro (ALEMANHA, 2005).

Os resíduos de mercúrio metálico tem aprovação por lei para destinação em unidade de armazenamento de período intermediário (classe III – aterro especial para resíduos perigosos) e de longo período (classe IV- depósito subterrâneo), sendo que estes últimos podem ser localizados em minas salinas, seguindo padrões definidos (ALEMANHA, 2009).

Os padrões para o controle da qualidade do ar externo de processos industriais são estabelecidos na instrução técnica TA Luft. Em relação ao mercúrio e seus componentes, os limites são: 0,25 g/h e 0,05 mg/m³ (ALEMANHA, 2002).

Para a rotulagem das lâmpadas, deve ser considerado o símbolo da FIGURA 8 e os consumidores devem ser informados sobre o significado do mesmo (ALEMANHA, 2005). Além disso, a quantidade de mercúrio deve ser informada na embalagem e endereço de *website* para consulta sobre o que fazer em caso de quebras (LIGHTCYCLE, 2012).

De acordo com a diretiva 2009/125, para os produtos consumidores de energia que atenderem as exigências de concepção ecológica, poderão utilizar a marcação “CE” e o consumidor deve ser informado sobre o significado desta simbologia (UNIÃO EUROPÉIA, 2009b). A definição de CE, baseada na ISO 14040, segundo a União Européia (2009b, p.285/16) é: “Concepção Ecológica, a integração de aspectos ambientais na concepção de um produto, no intuito de melhorar o seu desempenho ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida.”

Um dos regulamentos da lei de CE estabelece os prazos, por exemplo, relacionados às lâmpadas de uso doméstico, para atender os requisitos definidos de eficiência luminosa, vida útil, fator de potência, tempo de arranque, dentre outros. As datas estabelecidas para a adequação aos parâmetros descritos no regulamento foram divididas em 6 fases. A partir de 1º de setembro de 2009 até 2010, a primeira fase para atendimento do regulamento 244/2009 foi iniciada, e última etapa está prevista para 2016 (UNIÃO EUROPÉIA, 2009a).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE FABRICANTES DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

Foi realizada no mês de junho de 2011, visita ao único fabricante de lâmpadas fluorescentes do Brasil, em Osasco (SP), e na Alemanha, em abril de 2012, no mesmo fabricante, localizado em Augsburg, visando obter a informação atual sobre a produção de lâmpadas no país e conhecer mais detalhes sobre o processo de manufatura. Além disso, adquirir informações sobre o estado físico do mercúrio introduzido nas lâmpadas fluorescentes e a pureza necessária para realizar a reutilização de mercúrio oriundo do processo de reciclagem de lâmpadas usadas, bem como a viabilidade desta operação.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE RECICLADORAS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

Para realizar o levantamento das tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil, considerou-se o levantamento realizado por Polanco (2007), as empresas listadas no *website* do CEMPRE (2011), o mapeamento de empresas destinadoras de REEE realizado pela ABETRE (2011) e nota informativa do IBAMA (2011) sobre controle, produção, importação e comercialização de mercúrio no Brasil. Cruzando estas informações e excluindo as companhias que são unidades de aterros para resíduos perigosos, obteve-se uma lista atualizada das destinadoras de lâmpadas fluorescentes do Brasil. A partir destas informações, elaborou-se um questionário padrão, conforme APÊNDICE, para obter dados sobre a capacidade destas companhias e previsão de ampliação, operações logísticas, tipos de coletores utilizados, tecnologia de reciclagem aplicada, destinação dos materiais, custos de reciclagem e procedimento a ser adotado em caso de quebra de lâmpadas fluorescentes.

No intuito de avaliar os processos adotados, foram realizadas visitas em empresas destinadoras de lâmpadas fluorescentes usadas. Foi visitada em março de 2011, empresa de descontaminação de lâmpadas, localizada em Curitiba, Paraná. Na sequência, realizou-se visita em importador/distribuidor de lâmpadas para observar o funcionamento do equipamento de descontaminação de lâmpadas mercuriais. Foram também visitadas, as empresas recicladoras de lâmpadas que localizam-se em Cotia e Paulínia no estado de São Paulo. As visitas técnicas foram realizadas em julho de 2011 e em maio de 2012, respectivamente.

Na Alemanha, foram realizadas visitas nas recicladoras de lâmpadas fluorescentes localizadas em Brand-Erbisdorf, em janeiro de 2012, em Nuremberg, em março de 2012, em Baar e em Essen em abril de 2012.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE TRANSPORTADORAS DE LÂMPADAS USADAS

Em julho de 2011 foi realizada visita na empresa que executa operações logísticas para lâmpadas fluorescentes usadas em São Paulo (SP), com o objetivo de aprimorar o entendimento sobre a legislação relevante para esta atividade, à documentação necessária para transportar resíduos perigosos, verificar o coletor utilizado e a sistemática adotada para emissão de certificados de destinação.

A associação responsável pela logística reversa de lâmpadas fluorescentes na Alemanha, foi visitada em abril de 2012, na cidade de Munique, Baviera. Nesta ocasião foi possível realizar verificações sobre a gestão do sistema e operacionalização das respectivas atividades.

3.4 PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS SOBRE LOGÍSTICA REVERSA

Visando obter informações atuais sobre a implantação da logística reversa no Brasil, participou-se do seminário da logística reversa e o setor transportador, ocorrido em Brasília, em junho de 2011 e promovido pela Confederação Nacional do Transporte (CNT). Um dos objetivos do evento foi iniciar as discussões entre o setor

de logística e as outras partes envolvidas e avaliar os impactos da demanda gerada pela logística reversa, prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os principais temas abordados foram a PNRS, sendo a palestra realizada pela Sr^a Zilda Veloso, gerente de resíduos perigosos do Ministério do Meio Ambiente e coordenadora do grupo técnico de trabalho de lâmpadas do CONAMA. Além deste assunto, apresentou-se a relevância da logística reversa voltada à PNRS, ministrada pelo Sr. Paulo Roberto Leite, presidente do Conselho de Logística Reversa do Brasil (CLRB).

A participação em janeiro de 2012, no 11º Congresso Internacional de Reciclagem de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, realizado em Salzburg, Áustria, foi fundamental para obter informações a nível mundial sobre as novidades relacionadas ao tema em questão e realizar uma visita técnica em recicladora de lâmpadas fluorescentes, localizada em Viena. Os principais tópicos abordados no evento foram as tecnologias para a recuperação dos elementos terras raras de lâmpadas fluorescentes, a reciclagem destas lâmpadas, as novas tendências do mercado e o painel de discussão sobre a responsabilidade pela coleta de REEE.

3.5 ENTREVISTAS COM ÓRGÃO DO GOVERNO, ASSOCIAÇÕES E EMPRESÁRIOS DO SETOR

Visando obter dados sobre lâmpadas fluorescentes no Brasil realizou-se contato com as associações ABILUX, ABILUMI e ABINEE. Para verificação sobre a fabricação de vidro para lâmpadas foram contatadas a ABIVIDRO e o fabricante de lâmpadas fluorescentes.

Através do MMA, tornou-se possível obter informações em março de 2012, sobre as legislações relacionadas ao mercúrio e diagnóstico do uso do metal no Brasil.

Por intermédio do MDIC, em outubro de 2011, fez-se o cadastro no sistema *Aliceweb* e informações sobre importações de lâmpadas fluorescentes e de mercúrio foram acessadas. Para complementar a verificação sobre dados relacionados ao mercúrio, bem como informações sobre os elementos terras raras no Brasil, foi

contatado o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em fevereiro de 2012.

Dados sobre o mapeamento de empresas destinadoras de REEE foram obtidos via correio eletrônico enviado, em fevereiro de 2012, à ABETRE e à ABERELPE.

Dados sobre a quantidade de resíduos de lâmpadas fluorescentes de Curitiba foram obtidos através de contato com o departamento de limpeza urbana do município, em março de 2011.

Com objetivo de obter esclarecimentos sobre classificação de resíduos perigosos no transporte e validação da embalagem utilizada, mensagens foram encaminhadas, em fevereiro de 2012, à ouvidoria do INMETRO e da ANTT. Além disso, foram solicitados, em março de 2012, laudos de avaliação de embalagem a uma empresa fornecedora de coletores de lâmpadas fluorescentes.

Dados sobre produção e importação de lâmpadas fluorescentes da Alemanha foram solicitados, em março de 2012, à Associação ZVEI e ao escritório de estatística alemão.

O escritório de estatística alemão também foi contatado, em março de 2012, para obtenção de informações sobre a destinação do mercúrio obtido de lâmpadas fluorescentes.

Realizou-se contato com a empresa recicladora de pó de fósforo para esclarecer informações sobre o mercado dos elementos terras raras, em abril de 2012.

Entrevistas foram realizadas com diversos setores, indústrias e associações ligados ao processo de logística reversa e reciclagem de lâmpadas fluorescentes. Também foi realizada uma entrevista para obter informações sobre recicladoras de lâmpadas fluorescentes com representante da Associação de Recicladores de REEE da Europa, EERA. Outras entrevistas para obtenção de informações sobre a gestão do sistema de logística reversa na Alemanha foram conduzidas, em janeiro de 2012, com representantes de fabricantes de lâmpadas e da associação responsável pela logística reversa de LF da Alemanha.

Realizada entrevista com responsável pelos projetos de equipamentos de reciclagem de LF, da recicladora localizada em Nuremberg, em abril de 2012. A entrevista tornou possível verificar mais detalhes sobre a tecnologia de corte de terminais (*end cut*).

3.6 ENTREVISTA COM DISTRIBUIDORES E COMERCIANTES DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

Realizou-se visita e entrevista com distribuidor/importador, localizado em Curitiba, visando avaliar os procedimentos realizados pela empresa para destinação de lâmpadas pós-consumo.

Redes de comércio de lâmpadas com coleta voluntária foram visitadas no Brasil, para avaliar o coletor utilizado, tipos de lâmpadas recebidas e destinação final adotada.

Redes de comércio de lâmpadas foram visitadas na Alemanha para avaliar a sistemática de devolução de lâmpadas usadas, o coletor utilizado e as informações disponíveis ao consumidor.

3.7 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO TEOR DE MERCÚRIO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

O objeto desse estudo considera as lâmpadas fluorescentes do tipo compacta e tubular, pois se caracterizam pelo maior consumo em relação aos demais tipos de lâmpadas de descarga de gás e por estarem presentes em quantidades significativas nas residências do país.

Para avaliação do conteúdo de mercúrio em lâmpadas fluorescentes, amostras de lâmpadas fluorescentes compactas de 15 W, foram selecionadas para este estudo, pois apresentam consumo doméstico representativo. Além disso, análises realizadas por Santos *et al.* (2010) em relação às quantidades de mercúrio encontradas para este tipo de lâmpada, apresentaram valores de mercúrio superiores em relação a outros tipos amostrados.

As lâmpadas foram selecionadas aleatoriamente e adquiridas no comércio, localizado em Curitiba, Paraná. As lâmpadas usadas com as mesmas características foram coletadas no ponto de coleta de lâmpadas usadas e em empresa distribuidora de lâmpadas fluorescentes localizadas também em Curitiba.

Para determinação do conteúdo de mercúrio, estas amostras de lâmpadas fluorescentes compactas novas (3 unidades) e usadas (3 unidades) formato U de 15 W, foram analisadas pelo laboratório Tecpar de Curitiba, através do método de ICP OES (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivo acoplado com configuração axial). Um resumo do método adotado para analisar estas amostras de lâmpadas pode ser descrito como: remover o bocal; quebrar a lâmpada em uma solução contendo ácido nítrico e peróxido de hidrogênio, estando a lâmpada totalmente imersa na solução; deixar a solução ácida (300 mL de 50% HNO_3 + 10% H_2O_2) com a lâmpada já quebrada, em banho de ultrassom por 1 hora; filtrar a solução, recebendo o filtrado em balão volumétrico de 1 L, lavar o resíduo com água deionizada e completar o volume final do balão com água deionizada. Após a digestão a amostra foi levada para leitura no ICP OES e determinação do conteúdo de mercúrio (Santos *et al.*, 2010).

3.8 ANÁLISE DO TEOR DE MERCÚRIO EM FILTRO DE CARVÃO ATIVADO

Amostra de filtro de carvão ativado utilizado para reter vapor de mercúrio, oriunda de equipamento processador de lâmpadas fluorescentes, após a saturação, foi analisada pela metodologia EAA/GVF (Espectrometria de Absorção Atômica/ Gerador de Vapor Frio). O ensaio de lixiviação baseou-se na NBR 10.005. Os resultados são apresentados na TABELA 25, comparando com os limites estabelecidos pela NBR 10.004 e com o regulamento de aterros da Alemanha.

Para o teste de lixiviação é pesado no mínimo 100 g da amostra e determinada a granulometria das partículas. Estas devem passar em uma peneira com malha de 9,5 mm. Transfere-se a amostra e a solução de extração (contendo ácido acético) para um frasco. Fecha-se este recipiente e aplica-se agitação durante 18 +/- 2 h, à 25 °C. Desliga-se o sistema e realiza-se a filtração. Coleta-se o filtrado (fase líquida), também chamado de extrato lixiviado (ABNT, 2004a).

Espectrometria de Absorção Atômica, abreviado para EAA ou AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*), refere-se a técnica analítica para determinação de metais através da absorção de radiação eletromagnética por átomos.

A técnica baseia-se no fato de que átomos em seu estado mais estável, geralmente em seu estado gasoso e denominado “estado fundamental”, absorvem radiação em comprimentos de onda específicos para cada elemento, sendo essa absorção proporcional à concentração dos átomos presentes.

Para a determinação de mercúrio emprega-se a técnica do EAA Gerador de Vapor Frio, uma vez que o mercúrio encontra-se no estado gasoso a temperatura ambiente. Nessa técnica, o mercúrio é reduzido para seu estado fundamental com cloreto estanoso e o vapor de mercúrio é conduzido por um fluxo de nitrogênio ou argônio para uma célula de quartzo fria onde ocorre a absorção.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo explicitar os resultados e discussões sobre o estudo comparativo entre a logística reversa no Brasil e Alemanha. Além disso, apresentar as informações obtidas nas visitas técnicas realizadas, comparativo entre as tecnologias e destinação dos materiais obtidos, análise das legislações relacionadas, as alternativas de mercados para reuso do mercúrio gerado da reciclagem de lâmpadas e os resultados das análises laboratoriais de lâmpadas fluorescentes.

4.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

Em Osasco (SP), está instalada a única fábrica de lâmpadas fluorescentes em atividade no Brasil, fundada em 1955. Atualmente é o único fabricante nacional de lâmpadas fluorescentes. Possui duas linhas produtivas, com capacidade de até 6.000 lâmpadas/h. As quantidades de mercúrio utilizadas seguem os padrões da União Européia. Para as lâmpadas da família T8 (16, 18, 32 e 36 W) emprega-se 5 a 7 mg de Hg e para as lâmpadas da família T10 (20 e 40 W), 8 a 12 mg de Hg.

Todas as máquinas são enclausuradas, para evitar emissões fugitivas de mercúrio e a fábrica é dotada de sistemas de filtro de carvão ativado (3 t). Estes filtros saturam geralmente uma vez por ano e são encaminhados para a empresa de reciclagem, a qual realiza a regeneração do filtro.

O processo inicia com o recebimento do tubo, em seguida ocorre a dosagem do pó de fósforo e a secagem do tubo. Na sequência, na outra parte da linha, coloca-se o filamento e a pastilha de mercúrio (forma de amálgama), no caso da linha T8. Então, o tubo segue para a etapa de aquecimento, na qual ocorre a transformação do mercúrio para o estado líquido e gasoso. Para a linha T10, o mercúrio é dosado no estado líquido e horizontalmente.

O terminal de alumínio é colocado nas extremidades do tubo, sendo depositada, para selagem, uma cola. A próxima etapa consiste na secagem da cola. No empacotamento, na linha T8, as lâmpadas recebem embalagens individuais.

Realizam-se testes de qualidade, como ensaios laboratoriais e testes de acendimento.

O mercúrio oriundo das recicladoras para ser reutilizado no processo precisa passar por destilação.

No caso da Alemanha, a fábrica de lâmpadas fluorescentes deste mesmo fabricante está localizada em Augsburg. Fazem parte do parque industrial em Augsburg, fábrica de lâmpadas fluorescentes compactas e fábrica de lâmpadas fluorescentes tubulares, fábrica do tubo de vidro para as lâmpadas, manufatura de máquinas utilizadas na produção e fabricação do soquete de alumínio das lâmpadas.

São produzidas lâmpadas fluorescentes tubulares do tipo T5 (duas linhas de 2.000 lâmpadas/h) e T8 (quatro linhas de 7.000 lâmpadas/h). A quantidade produzida é de aproximadamente 100 milhões de unidades por ano.

A empresa também produz lâmpadas fluorescentes compactas (cinco linhas de 1.500 a 3.000 lâmpadas/h) com e sem reator eletrônico.

As etapas principais da produção são semelhantes às descritas para o Brasil, diferenciando-se pelo fato de que a fábrica da Alemanha emprega o mercúrio somente na forma de amálgama. Parte do mercúrio oriundo da reciclagem de lâmpadas é reutilizado para novas lâmpadas, através do seu envio para a fabricação das amálgamas. O vidro de lâmpadas fluorescentes tubulares oriundo da reciclagem é reutilizado para a produção de novos tubos para lâmpadas fluorescentes. O pó de fósforo é recebido e enviado, a fim de fazer a recuperação dos elementos terras raras.

4.2 MAPEAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA

Conforme os conceitos de logística reversa apresentados, as lâmpadas fluorescentes após atingir a sua vida útil, podem retornar através da categoria de logística reversa pós-consumo em canais de distribuição abertos e fechados.

A seguir, serão explicitados os resultados das empresas visitadas, sendo que estas companhias e outras empresas avaliadas se encontram codificadas conforme o QUADRO 5, pois nem todas autorizaram a identificação dos respectivos

nomes. A letra A foi utilizada para compor o código que caracteriza as empresas da Alemanha e a letra B, as companhias localizadas no Brasil.

CÓDIGO	TIPO	LOCALIZAÇÃO
B1	Transportadora	São Paulo (São Paulo)
B2	Distribuidora	Curitiba (Paraná)
B3	Recicladora	Cotia (São Paulo)
B4	Recicladora	Curitiba (Paraná)
B5	Recicladora	Paulínia (São Paulo) e Indaial (Santa Catarina)
B6	Recicladora	Curitiba (Paraná)
B7	Recicladora	Itupeva (São Paulo)
B8	Recicladora	Belo Horizonte (Minas Gerais)
B9	Recicladora	Gravataí (Rio Grande do Sul)
B10	Recicladora	Belém (Pará)
B11	Recicladora	Pouso Alegre (Minas Gerais)
B12	Recicladora	Nova Lima (Minas Gerais)
B13	Recicladora	Guarulhos (São Paulo)
B14	Recicladora	Bauru (São Paulo)
B15	Recicladora	São Paulo (São Paulo)
A1	Associação de logística reversa	MunIQUE (Baviera)
A2	Recicladora	Neuenkirchen (Renânia do Norte - Vestfália)
A3	Recicladora	Brand - Erbisdorf (Saxônia)
A4	Recicladora	Nuremberg e Baar (Baviera)
A5	Recicladora	Essen (Renânia do Norte - Vestfália)

QUADRO 5 – CODIFICAÇÃO DAS EMPRESAS DO BRASIL E DA ALEMANHA

4.2.1 Brasil

4.2.1.1 Empresa coletora e transportadora de lâmpadas fluorescentes

A companhia B1, localizada em São Paulo (SP), coleta lâmpadas usadas e transporta estas para as unidades de reciclagem, faz o uso de sistema de informação estruturado, para garantir a rastreabilidade das operações. Atende a todo o território nacional. O sistema de cobrança pelo serviço pode funcionar de maneira mensal. As operações de logística são realizadas utilizando o código da ONU 3077, manifesto de transporte de carga em três vias e treinamentos obrigatórios de Movimentação Operacional de Produtos Perigosos (MOPP) ao

motorista, para movimentação de cargas perigosas e o uso de declaração de expedidor. Para realizar o manuseio do resíduo, torna-se necessário um licenciamento. Para enviar o material para a recicladora, na maioria das vezes, realiza-se a consolidação da carga e emissão de certificados de destinação em nome da transportadora.

Os coletores padronizados são fornecidos aos clientes. Os coletores de pilhas são homologados pelo INMETRO, mas os de lâmpadas não. A correlação entre a norma da ABNT a NBR 10.004/04 (resíduos sólidos: classificação), a resolução ANTT 420/04 (instruções complementares ao regulamento de transporte de produtos perigosos) e regulamento 326/06 (regulamento para avaliação de conformidade para embalagens utilizadas no transporte de produtos perigosos) do INMETRO ainda não está clara para o setor transportador.

Através de verificações realizadas com o INMETRO, sobre a correlação da portaria nº 326/06 do INMETRO, da NBR nº 10.004/04 e da resolução da ANTT nº 420/04 no que diz respeito à classificação de resíduos perigosos e da avaliação da embalagem, obteve-se a informação que primeiramente deve-se verificar se as lâmpadas fluorescentes usadas são consideradas como produto perigoso, de acordo com a resolução ANTT nº 420/04, pois o INMETRO é responsável pela avaliação de conformidade das embalagens (INMETRO, 2012). Através de contato com a ANTT, foi informado que a classificação do produto para o transporte deve ser realizada pelo fabricante ou expedidor com auxílio do fabricante, baseando-se nas características físico-químicas do material. Além disso, através do item 2.0.2.9.1 da ANTT nº 420/04, é definida a classificação do resíduo de acordo com os requisitos da classe do material perigoso que esteja presente no resíduo. Os ensaios e critérios para esta classificação têm a sua descrição em manual específico da ONU (ANTT, 2012). Através dos contatos, não foi possível evidenciar referência à NBR 10.004 para a classificação de resíduos sólidos de LF. Além disso, ainda não está claro quais os requisitos para embalagens que devem ser adotados no acondicionamento e transporte de lâmpadas fluorescentes.

Informações sobre as embalagens foram obtidas através de contato com fabricante de embalagens utilizadas para o acondicionamento de lâmpadas fluorescentes. As embalagens não possuem selo do INMETRO, entretanto são realizados ensaios com o laboratório IPT e com o *Labtest*, para avaliar o índice de propagação superficial de chama e testes de resistência (MECA COLETA, 2012).

4.2.1.2 Comerciante de lâmpadas fluorescentes

Algumas lojas no Brasil já possuem iniciativas relacionadas à coleta de lâmpadas usadas. Como por exemplo, a distribuidora B2, situada em Curitiba (PR), a qual atua no setor de bricolagem e realiza venda de lâmpadas, mas disponibiliza um coletor de lâmpadas fluorescentes usadas (LEROY MERLIN, 2012a).

A empresa destina as lâmpadas fluorescentes recebidas para recicladora de lâmpadas. As quantidades coletadas de lâmpadas usadas são em média 50 a 70 lâmpadas/mês (LEROY MERLIN, 2012b).

4.2.1.3 Empresas destinadoras de lâmpadas fluorescentes

Foram avaliadas quatorze empresas destinadoras de lâmpadas fluorescentes do Brasil, destas empresas três recicladoras foram visitadas, a empresa B3, em Cotia (SP), a B4, em Curitiba (PR) e a B5 em Paulínia (SP). Para as demais foi enviado questionário, conforme APÊNDICE. Quatro empresas responderam, sendo que uma delas retornou negando a participação na pesquisa, duas responderam as perguntas e a outra está em fase de regularização das atividades. Desta forma, totalizando 50% de retorno e 36% de dados disponíveis.

Uma das empresas listadas no *website* do CEMPRES como destinadora de lâmpadas, tem as suas atividades voltadas à formação de mistura contendo vidro de lâmpadas, visando destinar à indústria cerâmica. Desta forma, foi desconsiderada do mapeamento como recicladora de lâmpadas fluorescentes.

As empresas que são unidades de aterros para resíduos perigosos, não estão contempladas no mapa. Mas na pesquisa realizada, verificou-se que no geral estas possuem equipamento de descontaminação de lâmpadas e dependendo da análise dos materiais obtidos, realizam a disposição no próprio aterro ou enviam alguns dos materiais obtidos para a reciclagem.

Na FIGURA 9 é possível visualizar o mapeamento das empresas de destinação de lâmpadas fluorescentes. A maioria está concentrada no estado de São Paulo. No total são 14 unidades, estando 13 em atividade.

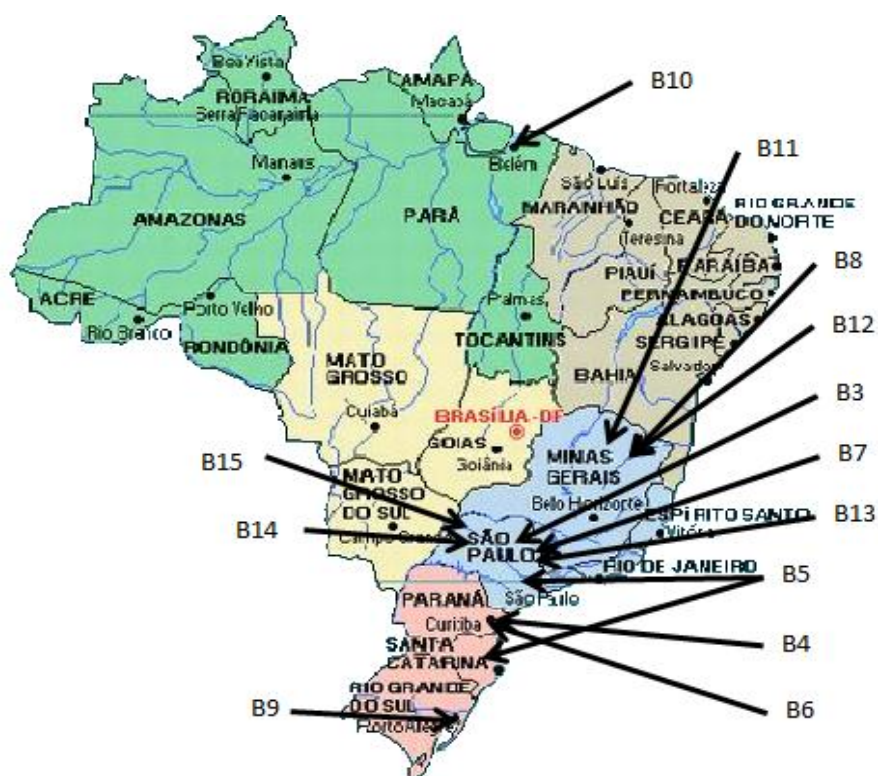


FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DAS RECICLADORAS DE LF DO BRASIL

Através da TABELA 16, visualiza-se um resumo sobre as informações gerais das empresas recicladoras de lâmpadas fluorescentes visitadas no Brasil. Na sequência estão apresentados dados mais detalhados sobre as recicladoras de lâmpadas fluorescentes.

TABELA 16 - INFORMAÇÕES GERAIS DAS RECICLADORAS DE LF VISITADAS NO BRASIL

INFORMAÇÕES	B3	B4	B5
Localização	Cotia, São Paulo	Curitiba, Paraná	Paulínia, São Paulo
Certificação	-	-	ISO 14.001:2004
Tecnologia	Sopro + tratamento térmico	Moagem simples	Trituração + tratamento térmico
Processamento anual de lâmpadas fluorescentes	2,5 milhões de unidades	900 mil unidades	3 milhões de unidades
Capacidade de processamento	3,6 milhões de unidades	1 milhão de unidades	6 milhões de unidades
Custo aproximado de processamento para lâmpadas fluorescentes	R\$ 1,00 lâmpada inteira R\$ 13,00/kg lâmpada quebrada	R\$ 0,60 lâmpada inteira R\$ 2,50/kg lâmpada quebrada	R\$ 0,65 lâmpada inteira R\$ 4,00/kg lâmpada quebrada
Responsável pela coleta	A própria empresa	A própria empresa	A própria empresa

Os valores fornecidos pelas recicladoras em relação à cobrança pelo processamento das lâmpadas fluorescentes são uma média, podendo variar conforme o tipo de lâmpada.

4.2.1.3.1 Empresa B3

A empresa B3 foi desenvolvida a partir de pesquisas na USP e iniciou suas atividades comerciais em Cotia (SP), no ano de 2008.

A empresa realiza a coleta e transporte de resíduos. Os códigos da ONU adotados são o 3077 ou o 3082.

Os coletores utilizados e comercializados pela empresa para o transporte e armazenamento das lâmpadas fluorescentes são apresentados na FIGURA 10. O coletor da FIGURA 10a, de papelão ondulado, tem a indicação de uso de uma vez. O coletor da FIGURA 10b é de plástico polionda com reforço de alumínio nas estruturas laterais. Na FIGURA 10c, visualiza-se outra opção utilizada e desenvolvida pela empresa, com furos para encaixe das lâmpadas, sendo o material de papelão ondulado. A companhia também orienta o armazenamento nas embalagens originais das lâmpadas.

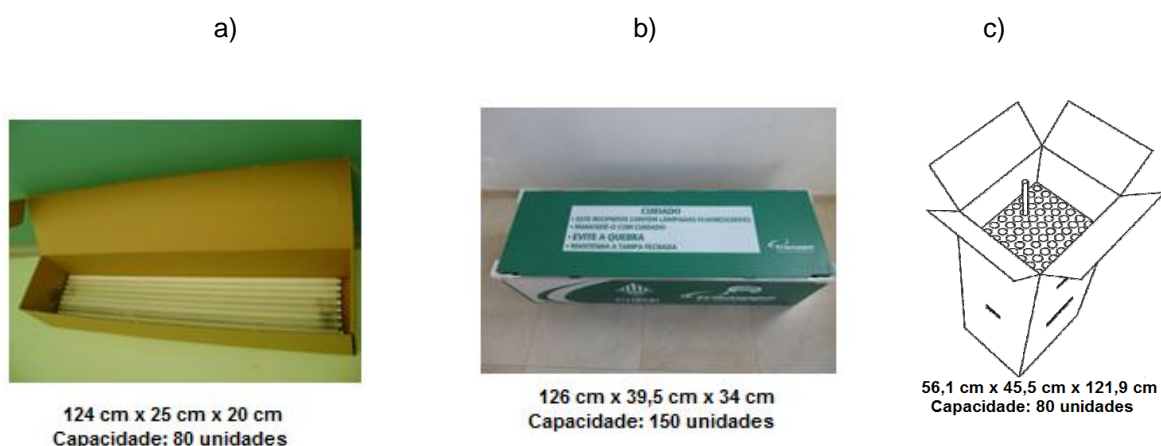


FIGURA 10 – COLETORES DE LÂMPADAS FLUORESCENTES
FONTE: TRAMPPO (2012)

A documentação utilizada para o transporte contempla o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), ficha de emergência e declaração do expedidor. O

motorista realiza o curso de MOPP. O veículo utilizado pela empresa é equipado com sistema para o tratamento do ar.

Após o descarregamento das lâmpadas na empresa, estas são segregadas por tipo. O início do processamento é realizado através do corte das extremidades das lâmpadas através de uma lâmina. O pó no interior do tubo é removido por sopro e conduzido através de ciclones para ser submetido ao processo de sublimação, para posterior recuperação do mercúrio, o qual é destinado sem passar por processo de purificação. A destinação do filtro de carvão ativado utilizado no processo é para aterro classe I.

4.2.1.3.2 Empresa B4

A empresa B4, atuante no mercado desde 2005, em Curitiba (PR), utiliza um sistema móvel para destinação de lâmpadas. As principais etapas do processo são: montagem do equipamento, trituração das lâmpadas usadas, filtragem e retenção do pó de fósforo e do vapor de mercúrio. O funcionamento do equipamento ocorre através da trituração da lâmpada e acondicionamento dos resíduos de alumínio e vidro em tambor de 200 L. O pó de fósforo é conduzido a um compartimento separado e o vapor de mercúrio fica retido em filtro de carvão ativado, o qual gera a estabilização deste material, pois sofre alteração química e se transforma em sulfeto de mercúrio. A destinação do filtro de carvão ativado é para aterro classe I.

A capacidade do equipamento é para cerca de 900 unidades, dependendo do tipo de lâmpada. O filtro de carvão ativado utilizado para reter o vapor de mercúrio satura com aproximadamente 300.000 unidades de lâmpadas. O equipamento promove a redução de até sete vezes o volume inicial das lâmpadas.

O lote mínimo para coleta efetuada sem custos pela empresa no município de Curitiba é de 300 unidades. São comercializadas caixas de papelão para o armazenamento, sendo a capacidade de cada caixa para 64 lâmpadas tubulares até 1,20 m. A empresa também indica o armazenamento nas embalagens originais das lâmpadas.

Atualmente a destinação da maior parte dos materiais obtidos é para o aterro classe I. Parte do vidro obtido é enviada para a reciclagem, estando este

processo em fase de teste. A empresa está desenvolvendo parcerias para destinar os materiais para novos ciclos produtivos.

Segundo a companhia, o mercúrio extraído de resíduos apresenta baixa pureza, que para ser reutilizado como matéria-prima precisaria passar pelo processo de bi ou tridestilação que é bastante oneroso, fazendo com que o produto reciclado fique mais caro do que o mercúrio novo importado.

4.2.1.3.3 Empresa B5

A empresa pioneira em reciclagem de lâmpadas no Brasil está localizada em Paulínia (SP). Atua no mercado desde 1985. Em 2009, a empresa fez uma parceria com outra recicladora situada em Indaial (SC) e ocorreu a fusão das duas companhias. A companhia também possui um escritório administrativo localizado em Porto Alegre (RS).

Atualmente, segundo a empresa, estima-se um mercado de cerca de 200 milhões de lâmpadas utilizadas no país, porém deste total todas as empresas que realizam esta atividade atendem apenas cerca de 6 a 7 %, aproximadamente 13 milhões, e deste total, a companhia possui 60 % de participação.

De acordo com a licença de operação da unidade de Paulínia, a empresa pode processar até 6 milhões de lâmpadas fluorescentes por ano e realizar o tratamento de diversos resíduos mercuriais.

Segundo a empresa para o tratamento dos resíduos é necessária a autorização ambiental e/ou parecer técnico do órgão ambiental de São Paulo, CETESB, através de documento chamado CADRI: Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental. Este documento é solicitado pelo gerador de resíduos. Informações sobre o recebimento e destinação dos materiais são reportadas ao CETESB mensalmente. A produção e a venda do mercúrio são informadas ao IBAMA.

A empresa B5 realiza o monitoramento do teor de mercúrio, através da análise de lixiviado, segundo a NBR 10.005, nas frações obtidas do processamento de lâmpadas mercuriais. Também são realizadas medições do teor de mercúrio na água pluvial, água subterrânea, água superficial, no solo e sedimentos.

O tipo de tratamento utilizado pela empresa é a trituração associada ao tratamento térmico, operando com temperaturas em torno de 480°C e todo o sistema é mantido sob pressão negativa. As principais etapas do processamento de lâmpadas fluorescentes são: retirada da embalagem e contagem; ruptura; separação e limpeza do vidro através de rotação, atrito, peneiramento e sistema de sucção; e desmercurização térmica para a remoção do mercúrio. O equipamento que realiza a recuperação do mercúrio é chamado de retorta. Nas lâmpadas fluorescentes, apenas o pó fosfórico contaminado por mercúrio é que passa por processo de recuperação de mercúrio na retorta, cujo processo é de aproximadamente 24 h. A pureza do mercúrio obtido é maior do que 99,97 %. Um fluxograma do processo está apresentado no ANEXO A.

Os gases e material particulado capturado no processo, passam por sistema de filtros de finos, filtro de carvão ativado e lavagem de gases.

O filtro de carvão ativado pode ser regenerado, mas atualmente é processado na retorta e destinado para aterro classe II.

Em relação ao transporte, a empresa faz uso de frota própria e também conta com serviços terceirizados. Os caminhões são equipados com filtro de carvão ativado. O acompanhamento dos serviços logísticos é realizado através de uso de *software*. O código da ONU utilizado é o 3077. A documentação fiscal engloba nota fiscal de simples remessa, para o transporte de resíduo, utilizando valor simbólico, acrescentando documentação obrigatória que deve acompanhar os resíduos que contempla o envelope de emergência com as informações de identificação do gerador, transportador, instruções no caso de emergência e a ficha de emergência do resíduo com todas as informações sobre o produto, EPI(s), telefones de emergência, etc.

As lâmpadas são coletadas nas embalagens originais ou sem coletores. Estão em desenvolvimento bombonas para serem utilizadas como recipientes de acondicionamento padrão para as lâmpadas fluorescentes.

4.2.2 Alemanha

Segundo o *Statistisches Bundesamt* (2009b) 100 t de lâmpadas fluorescentes tubulares e de outros contendo mercúrio foram destinados para aterros de resíduos perigosos em 2009. A quantidade total (12.400 t) de resíduos contendo mercúrio que chegaram em unidades de tratamento na Alemanha, não possui estratificação para lâmpadas fluorescentes. Entretanto, considerando a quantidade reciclada de 2.900 t, obtém-se um índice em relação ao *input* total, de 23%.

O controle sobre a quantidade de mercúrio recuperada de REEE é realizada, entretanto não foi possível visualizar no relatório do *Statistisches Bundesamt* este valor estratificado para lâmpadas fluorescentes, pois o código 200121* é utilizado para lâmpadas fluorescentes e outros resíduos que contém mercúrio (200121) e resíduo perigoso (*). Informações sobre a destinação deste mercúrio, também não se encontram disponíveis.

Os dados mais atuais consolidados pelo ministério do meio ambiente da Alemanha sobre venda de lâmpadas de descarga de gás são referentes ao ano de 2008. A quantidade de lâmpadas comercializadas foi equivalente a aproximadamente 30.246 t. De acordo com a TABELA 11, sendo o valor total coletado para lâmpadas de descarga de gás 8.948 t, obtém-se em relação ao total comercializado, um índice de 30% de retorno destes produtos usados.

Segundo a ZVEI (2008) a fatia do mercado para as lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares em 2008, representou cerca de 94% do total de lâmpadas de descarga de gás vendidas. Sendo a taxa de reciclagem das lâmpadas coletadas superior a 99%, pode-se adotar o índice estimado de 30% para a reciclagem de lâmpadas fluorescentes na Alemanha. Este percentual é uma estimativa, que pode ter variação no cálculo, devido ao tempo de vida útil das lâmpadas e as oscilações de vendas no mercado.

O percentual de aproximadamente 30% está muito próximo do índice de 33%, apresentado por empresa recicladora de LF, no Congresso Internacional sobre REEE em 2012. Segundo MRT System (2007) *apud* Sanches (2008), a reciclagem de lâmpadas fluorescentes na Alemanha estava com índice de 50%. Comparando o dado de 2008 com este de 2007, observa-se uma redução estimada de 20%. Esta diferença pode ter ocorrido, pois a implantação efetiva do sistema iniciou em 2006,

podendo em 2007, o controle das informações ainda não ser tão efetivo quanto atualmente. Logo o índice gerado pode ter sido estimado com base em dados imprecisos.

A organização do sistema de coleta de lâmpadas usadas na Alemanha é dada na FIGURA 11.

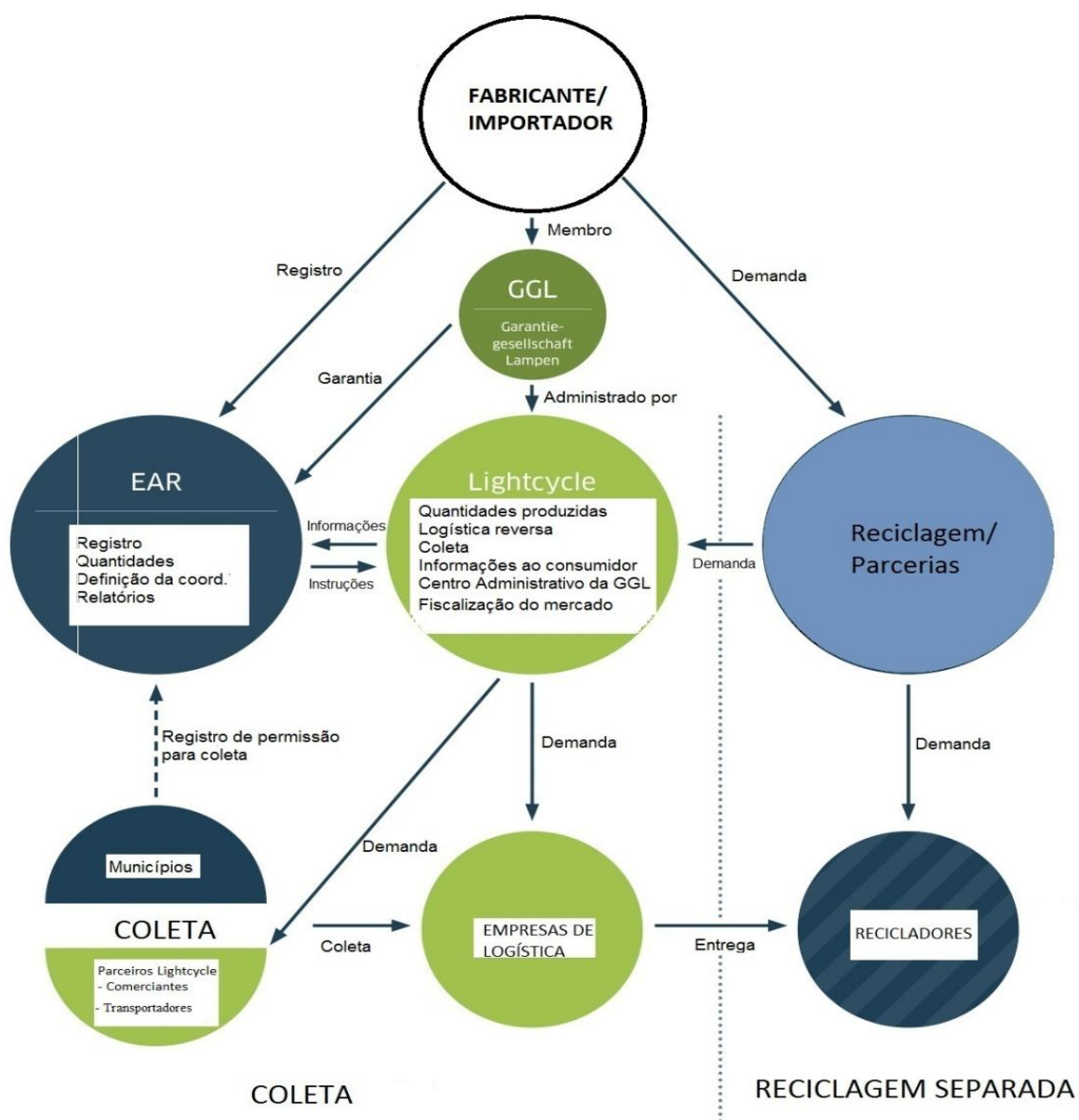


FIGURA 11 – ESTRUTURA DO SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS NA ALEMANHA

FONTE: adaptado de LIGHTCYCLE (2012b)

O responsável pela gestão da logística reversa (coleta e transporte) é a associação sem fins lucrativos fundada pelos fabricantes de lâmpadas, a qual também administra a GGL e coordena as informações ao consumidor (LIGHTCYCLE, 2012b). Esta associação tem mais de 95% do mercado de logística

reversa da Alemanha, os outros 5% são realizados por outras pequenas empresas. Os consórcios responsáveis pela reciclagem, os quais são independentes da associação responsável pela logística reversa, são o WEEE Service e o LARS. O WEEE Service é responsável por organizar a reciclagem da empresa Osram e de outros pequenos fabricantes e importadores. A Philips é associada ao LARS. Estes consórcios são responsáveis por realizar a gestão financeira, visando repassar as contribuições mensalmente à gestora das atividades logísticas e aos recicladores.

Diferente dos outros países da União Européia, a estrutura do sistema da Alemanha foi constituída desta maneira, por orientação do governo, a fim de evitar a formação de um monopólio pelas atividades de reciclagem, estimulando a competição e a redução dos custos desta atividade.

A associação GGL foi fundada para fornecer uma garantia de cobertura dos custos de reciclagem, no evento do encerramento das atividades do fabricante/importador de lâmpadas. Aproximadamente 100 empresas do setor são membros da GGL.

De acordo com a lei *ElektroG*, os fabricantes de lâmpadas devem registrar os dados relacionados a sua produção na instituição chamada EAR (EU-RECYCLING, 2011). A EAR (*Elektro Altgeräte Register*) é uma entidade vinculada a agência ambiental alemã, a qual tem como principal função coordenar a prestação das informações de coleta de REEE às autoridades públicas (EAR, 2012).

4.2.2.1 Empresa gestora da logística reversa de lâmpadas fluorescentes

A associação A1 possui onze colaboradores, sendo dois gestores, um para serviços operacionais e outro para o setor comercial e financeiro. O departamento de logística possui dois integrantes e o de *marketing*, vendas e fiscalização de mercado é constituído por cinco representantes. O setor de suporte aos negócios possui dois colaboradores. Além disso, a administração da associação GGL é realizada por um funcionário da associação A1.

A GGL fornece uma garantia aos fabricantes de lâmpadas relacionada à cobertura dos custos de reciclagem e os deveres em relação ao EAR, no caso de fechamento da empresa produtora/ importadora de lâmpadas.

As principais atividades da A1 por setor são apresentadas no QUADRO 6. Verifica-se através deste quadro que a abrangência das atividades logísticas da associação de logística reversa de lâmpadas da Alemanha, vai desde gestão de pedidos, transporte, serviços de imprensa e relações públicas, até compras e tecnologia da informação, a qual compreende o processamento dos pedidos. Vale a pena destacar que o sucesso de uma organização que realiza atividade logísticas está diretamente ligada ao gerenciamento das operações de compras, transporte, administração de estoques e de pedidos (PROFISSIONAIS, 2010).

SETOR	ATIVIDADES
Logística	Gestão de pedidos, das disposições, dos coletores, do transporte, das rotas, dos pontos de coleta, de auditorias, de contratos de parceiros e orçamentos.
<i>Marketing</i> , Vendas e Fiscalização do Mercado	Serviço de imprensa e relações públicas, contato com as autoridades, contato com as associações e municípios, visitas, acompanhamento do aumento de volumes, administração das opções de entrega e pesquisas de mercado.
Suporte aos negócios	Gestão da Qualidade (auditorias ISO), recursos humanos, gestão dos seguros, avaliação da legislação e contratos, financeiro, contabilidade, relatório para o EAR, compras e tecnologia da informação.

QUADRO 6 – PRINCIPAIS ATIVIDADES DA ASSOCIAÇÃO A1

FONTE: LIGHTCYCLE (2012)

Na Alemanha, cerca de 85% das lâmpadas fluorescentes coletadas são do tipo tubular e 15% correspondem às lâmpadas compactas. Os pontos de coleta existentes correspondem há mais de 6.000 unidades para usuários domésticos, aproximadamente 400 para pequenas e médias indústrias e cerca de 600 para grandes companhias. Além destes pontos, há previsão da colocação de mais de 8.000 pontos de coleta em lojas (EU-RECYCLING, 2011). Atualmente, segundo a A1 os pontos para usuários domésticos e pequenos geradores correspondem a 7.200 unidades.

Os pontos de coleta na Alemanha são facilmente encontrados no *website* da associação A1 que é a empresa responsável pela logística reversa das lâmpadas fluorescentes do país. Em alguns lugares existem pontos que recebem até 50 unidades de lâmpadas usadas, gratuitamente (LIGHTCYCLE, 2012b). A classificação dos pontos é feita em pequena e grande capacidade. Considera-se o ponto de grande capacidade, quando tem geração de mais de 1 t/ano.

Uma das redes de mercados, cosméticos e produtos naturais da Alemanha, a dm, localizada em Stuttgart, realiza também a venda de lâmpadas e possui na entrada da loja coletores disponíveis para coleta de lâmpadas fluorescentes compactas. Estes coletores possuem divisórias. Quando os coletores estão cheios é acionada a associação A1, responsável pela coleta e transporte das lâmpadas aos recicladores (DM, 2012). No caso desta loja, os coletores utilizados não são do padrão da associação A1.

A coleta de lâmpadas usadas é conduzida em três modalidades: coleta nos municípios, coleta de pontos de pequenos e médios geradores e coleta direta de grandes geradores (mais de 1 t/ano), por exemplo em grandes indústrias.

Os coletores utilizados pela associação A1 para realizar o acondicionamento e o transporte, em pontos de coleta de grande capacidade, são apresentados na FIGURA 12 (LIGHTCYCLE, 2012b).

As vantagens destes coletores, de acordo com a A1, são menor índice de quebra, facilidade no descarregamento na unidade de reciclagem, capacidade de preenchimento elevada, ocupam menor volume e espaço e o material é resistente. Os custos destes *containers* estão em torno de 80 Euros.

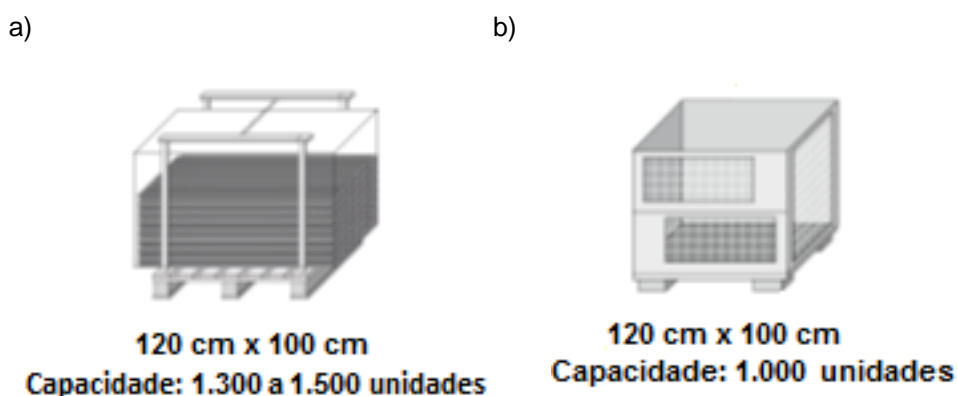


FIGURA 12 - COLETOR DE LF EM PONTOS DE GRANDE CAPACIDADE

a) TUBULARES

b) COMPACTAS

FONTE: adaptado de LIGHTCYCLE (2012)

No caso de pontos de coleta de pequena quantidade, como os localizados em distribuidores e supermercados, o coletor utilizado é dado na FIGURA 13 e são aceitos até 50 unidades por consumidor. Para o armazenamento temporário de lâmpadas fluorescentes tubulares coletadas no coletor da FIGURA 13a, utiliza-se o coletor da FIGURA 13b. Para o transporte, até o reciclador, é realizada a seleção

manual e acondicionamento das lâmpadas nos coletores apresentados na FIGURA 12. Cerca de 1% das empresas utilizam um *container* fechado, o qual tem custo de 400 Euros, mas neste caso este valor é pago pelo cliente. O coletor possui 300 kg de tara e 100 kg de capacidade. A maior vantagem é a proteção contra umidade.

As lâmpadas quebradas são coletadas em tambores de plástico fechados fornecidos pela associação A1.

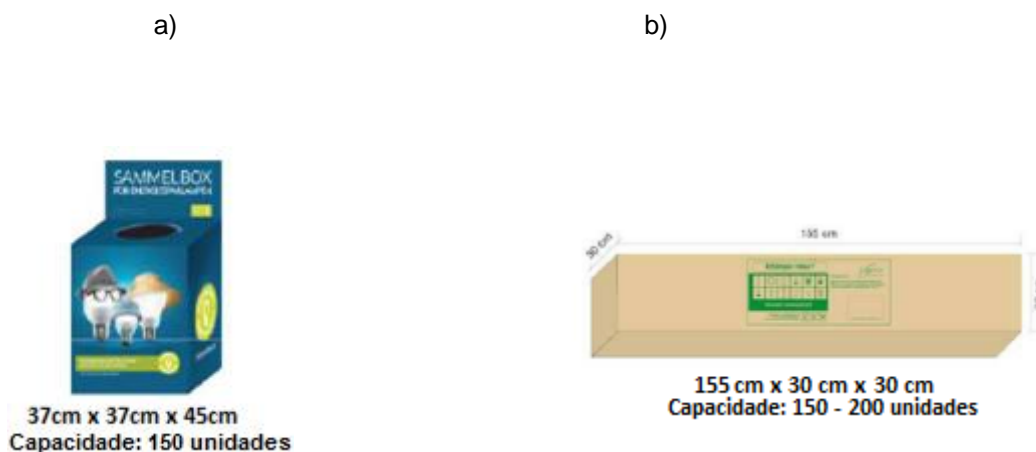


FIGURA 13 - COLETOR DE LF EM PONTOS DE PEQUENA CAPACIDADE

a) COMPACTAS

b) TUBULARES

FONTE: LIGHTCYCLE (2012)

Medições de liberação de mercúrio nas redes de varejo e nos caminhões são realizadas para monitoramento, mas de forma voluntária, pela A1, através do *bifa Umweltinstitut*. Foram realizadas medições e avaliações em pontos de coleta no varejo, em cenários com diferentes temperaturas, ventilação e quantidade de lâmpadas. Obteve-se a recomendação de que através do manuseio adequado como medida preventiva, não há riscos significativos relacionados ao ponto de coleta (NORDSIEK; HERTEL, 2010b). Outro estudo realizado em pontos de coleta demonstrou que para evitar perigos, os coletores devem estar em uma área maior do que 40 m², com circulação de ar fresco de 100 m³/h (NORDSIEK; HERTEL, 2010a).

Em 2011, foram coletados aproximadamente 9.000 t de lâmpadas usadas, sendo 80% correspondente a lâmpadas fluorescentes. Deste total 80% foram de origem comercial e industrial e 20% oriundos da coleta municipal. A associação A1 considera o peso médio das lâmpadas fluorescentes, 190 g, desta forma o valor coletado para este tipo de lâmpada correspondeu a cerca de 37 milhões de unidades de lâmpadas fluorescentes em fim de vida útil.

A A1 realiza a coleta e transporte sem a cobrança de taxas, para no mínimo um volume de 3 m³ ou 3 *containers* cheios.

A coleta e transporte das lâmpadas usadas no município são solicitados através do contato com a EAR, a qual, por sua vez, comunica por *email* a associação A1. Para as outras origens, realiza-se a solicitação da ordem, via *website* da A1 ou através de contato direto. A solicitação de ordens de coleta através do *website* realiza-se informando ponto de coleta, quantidade de coletores, peso e data de entrega.

A A1 faz uso do sistema SAP, para gestão financeira, monitoramentos das ordens de coleta e de entrega. Os custos das operações de coleta e transporte e coleta comparados com a reciclagem, segundo a A1, estão numa relação de 2:1. Os custos logísticos estão relacionados à classificação, números de carregamentos e descarregamentos, investimento em *containers*, flexibilidade no planejamento da rota, localização e quantidade de pontos de coleta.

A empresa A1, divide a Alemanha em cinco regiões logísticas, de acordo com a geração de lâmpadas, sendo o número de 6 a 10 milhões de unidades coletadas por região. Trabalha com quatro empresas que são operadores logísticos, sendo que algumas delas também fornecem serviços de reciclagem. Estas realizam serviços de coleta e consolidação de carga. Os demais parceiros logísticos são especializados no transporte de resíduos perigosos.

A maior parte da logística é realizada pelo sistema *milk run*, ou seja, no dia pré-determinado do *tour* de coleta ou em até 2 dias, a carga é direcionada ao reciclador. No caso da coleta das redes de comércio, realiza-se a consolidação da carga em pontos estrategicamente localizados. Através da prática de *milk run*, divisão do país em regiões logísticas e localização das recicladoras em cada uma destas regiões, tornou-se possível uma economia de aproximadamente 13% dos custos em relação a 2008/9, comparando com 2006/7. Além disso, a utilização de estruturas já existentes, permite manter esta atividade simples e flexível.

O documento utilizado atualmente no transporte é o pedido contemplando: o número da ordem (colocado pelo operador logístico no coletor no momento da coleta), a data, código do EAR, endereço, tipo de serviço (coleta e/ou entrega), quantidades, tipo de coletor, assinatura do local no qual foi coletado, assinatura do motorista e do reciclador. A declaração de expedidor, códigos ONU e manifesto de transporte de resíduo perigoso eram utilizados anteriormente e foram retirados,

devido às discussões entre o setor e o governo, para reduzir a burocracia no transporte para produtos que contém substâncias perigosas.

Segundo a associação A1, as lâmpadas fluorescentes usadas são consideradas como resíduos perigosos e classificadas no código 200121* da lei de classificação de resíduos perigosos. A lei de transporte de materiais perigosos, como mercúrio metálico, por exemplo, requer uma série de cuidados e limites para carga que pode ser transportada, mas não é aplicável a resíduos que contém este elemento em pequena quantidade, como as lâmpadas fluorescentes usadas.

Certificado da avaliação de conformidade dos caminhões, realizado por empresa externa, em condições específicas de empilhamento e acondicionamento de coletores padrões no interior do veículo, acompanha a ordem de serviço. No caso de fiscalização durante o transporte, este documento é apresentado.

A empresa recebe auditorias a cada dois anos da Federação de Fabricantes de Lâmpadas da Europa (ELC) e dos consórcios WEEE *Service* e LARS.

Para repassar as informações aos consumidores no início da implantação da logística reversa foram realizados grandes investimentos através de comerciais em canais de televisão e em programas educativos. Informações em jornais e revistas foram conduzidas, além do uso de propagandas em rádio. Campanhas foram realizadas para obter sugestões para melhorar a logística reversa, através da premiação da população. Folhetos e outros materiais informativos foram impressos e distribuídos nos municípios. Cartazes explicativos ficam dispostos nos pontos de coleta. Atualmente estão sendo desenvolvidas palestras em escolas sobre o tema aquecimento global, contemplando a questão da destinação de lâmpadas fluorescentes usadas.

Verificou-se em uma pesquisa realizada em 2008 que 80% da população tem o conhecimento sobre o descarte final adequado das lâmpadas usadas. Segundo a associação A1, este foi o resultado do investimento realizado para a divulgação das informações ao consumidor (LIGHTCYCLE, 2012).

4.2.2.2 Empresas destinadoras de lâmpadas fluorescentes

As recicladoras atualmente existentes na Alemanha estão mapeadas na FIGURA 14. No total, são três empresas que realizam esta atividade em quatro plantas principais de reciclagem de LF. A empresa A2, situada em Neuenkirchen, atualmente realiza a reciclagem de lâmpadas oriundas de outros países. Desta forma, foi desconsiderada deste estudo.



FIGURA 14 – LOCALIZAÇÃO DAS RECICLADORAS DE LF DA ALEMANHA

Na TABELA 17 é apresentado um resumo sobre as informações gerais das empresas recicladoras de lâmpadas fluorescentes usadas visitadas na Alemanha.

TABELA 17 – INFORMAÇÕES GERAIS DAS RECICLADORAS DE LF VISITADAS NA ALEMANHA

INFORMAÇÕES	A3	A4	A5
Localização	Brand-Erbisdorf	Nuremberg e Baar	Essen
Certificação	ISO 14.001:2009 e Entsorgungfachbetrieb, <i>ElektroG</i> , artigo 11	ISO 14.001:2004, ISO 9.001:2008 e Entsorgungfachbetrieb, <i>ElektroG</i> , artigo 11	ISO 14.001:2004, ISO 9.001:2008 e Entsorgungfachbetrieb, <i>ElektroG</i> , artigo 11
Tecnologia	Corte dos terminais para LF tubulares. Processo de extração específica para lâmpadas compactas e <i>shredder</i> para lâmpadas quebradas.	Corte dos terminais para LF tubulares. Processo de extração específica para lâmpadas compactas. Linha de <i>shredder</i> para lâmpadas quebradas.	Moagem via úmida e Recuperação térmica do mercúrio.
Processamento anual de LF	7 milhões de unidades	9 milhões de unidades	27 milhões de unidades
Capacidade de processamento	20 milhões de unidades	12 milhões de unidades	90 milhões de unidades
Custo aproximado de processamento	<0,18 Euro	0,08 Euro	-
Responsável pela coleta	Associação A1	Associação A1	Associação A1

FONTE: visitas às recicladoras A3, A4 e A5 em 2012

Todas as empresas são certificadas com base na lei *ElektroG*.

Na TABELA 18 é realizado um comparativo entre as frações obtidas nos processos de reciclagem. Verifica-se que dependendo da tecnologia empregada o tipo de vidro obtido é considerado de qualidade inferior, pois ocorre a contaminação do mesmo com outras frações das lâmpadas, o que ocasiona a sua destinação para outros ciclos produtivos, como para a manufatura de fibras de vidro isolantes.

TABELA 18 – FRAÇÕES OBTIDAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE LF

MATERIAIS		FRAÇÕES (%)			
		A3	A4	A5	
		Tubular	Tubular	Tubular	Compacta
Vidro	Alta qualidade	90,0	82,0	76,0	-
	Baixa Qualidade (misturado)	5,0	9,7	19,5	70,0
Metais	Alumínio	2,0	3,4	1,5	27,0
	Latão/ Bronze		0,5	-	
	Ferro e outros metais		0,5	-	
Plástico e componentes eletrônicos		-	-	-	
Pó de fósforo		3,0	3,9	3,0	3,0
Mercúrio				0,004	0,004

FONTE: visitas às recicladoras A3, A4 e A5 em 2012

Na TABELA 19, podem ser visualizados os valores de comercialização das frações obtidas. Os preços para os metais apresentam variação, mas depende dos metais que são obtidos através da tecnologia utilizada. O valor de mercado para o pó fosfórico encontra-se em definição. O vidro de baixa qualidade, na maioria das vezes, é destinado sem valor agregado.

TABELA 19 – VALORES DOS MATERIAIS OBTIDOS DA RECICLAGEM DE LF

MATERIAIS		VALORES (EUROS/t)	
		A3	A4
Vidro	Alta qualidade	52-70	>50
	Baixa Qualidade	0	0
Metais	Alumínio	50-100	100
	Latão/ Bronze		280
	Ferro e outros metais		100
Pó de fósforo		Não informado	Em definição
Mercúrio			
Componentes eletrônicos, no caso LFC		Não informado	Não informado

FONTE: visitas às recicladoras A3 e A4 em 2012

A seguir, são apresentadas informações mais detalhadas obtidas nas visitas realizadas às empresas recicladoras de lâmpadas fluorescentes usadas da Alemanha.

4.2.2.2.1 Empresa A3

A empresa A3 atua no mercado de reciclagem de lâmpadas desde 1991. Processa vários tipos de lâmpadas que contém mercúrio como vapor de sódio e fluorescentes. A empresa também processa o refugo gerado no processo de fabricação de lâmpadas. No mesmo local da instalação da empresa A3, está uma linha de fabricação de lâmpadas fluorescentes e no terreno ao lado da empresa encontra-se um fábrica de vidro.

A tecnologia utilizada para o processamento de lâmpadas tubulares é o método de corte dos terminais (*end cut*). Na FIGURA 15 está apresentado o fluxograma do processamento de lâmpadas fluorescentes tubulares adotado pela companhia A3.

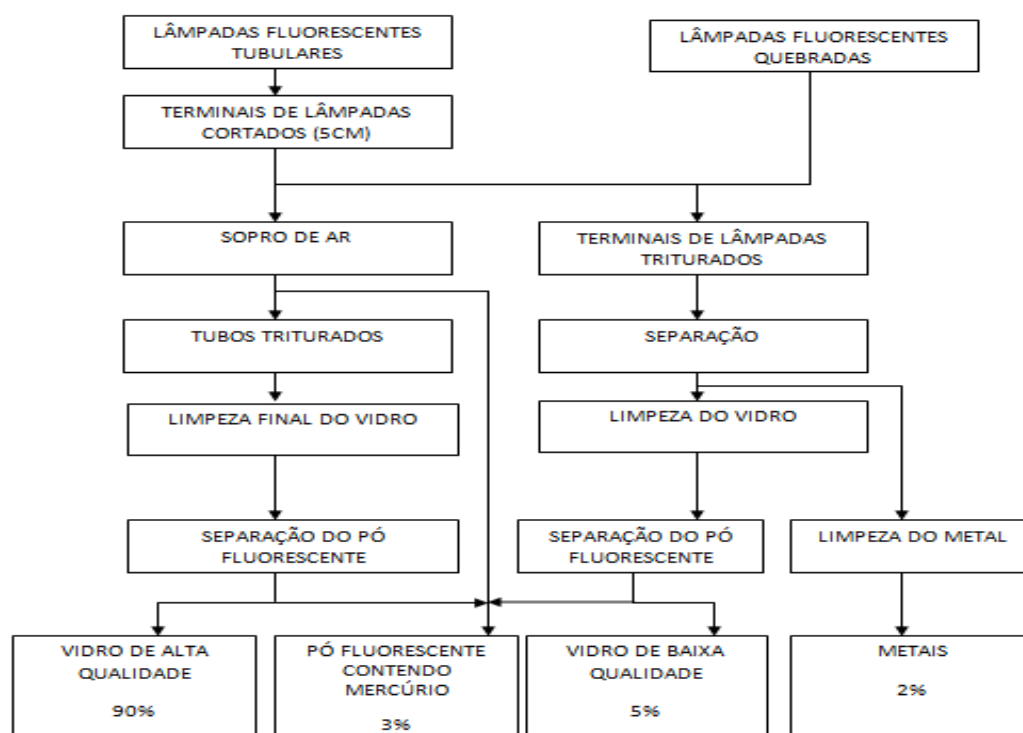


FIGURA 15 - ETAPAS E FRAÇÕES OBTIDAS DO PROCESSAMENTO DE LF TUBULARES

FONTE: adaptado de fluxograma fornecido pela empresa A3 em 2012

No início do processamento das lâmpadas fluorescentes tubulares, as extremidades das lâmpadas são cortadas em partes de 5 cm, sendo a lâmpada dividida em três partes e estas seguem em dois processos distintos. No primeiro processo, a parte central da lâmpada fluorescente tem o pó fosfórico retirado por sopro e depois o vidro é triturado. No segundo, as extremidades de metal têm o vidro retirado, e este é considerado de qualidade secundária. As etapas de limpeza do vidro são realizadas por sopro e peneiramento.

A separação do pó fosfórico contendo mercúrio é realizada em equipamento em ambiente fechado, a fim de evitar emissões fugitivas. Este pó é coletado em tambores fechados. A separação do mercúrio do pó fosfórico é terceirizada, sendo utilizado o processo de destilação.

No caso das lâmpadas fluorescentes compactas, o equipamento utilizado é diferenciado devido aos componentes eletrônicos do reator deste tipo lâmpada.

A empresa A3 informou que devido às leis que datam de 2005 para os REEE, a reciclagem é organizada pelos fabricantes. Os custos adicionais ocasionaram um acréscimo no valor do produto de 0,10 a 0,15 Euro. Para uma lâmpada que custa 5 Euros, por exemplo, equivaleu a 3% do preço.

Em relação ao filtro de carvão ativado, quando satura é destinado para aterros de resíduos perigosos, classe de aterro prevista na legislação de aterros da Alemanha. Medições de mercúrio são realizadas no processo frequentemente, conforme procedimento definido através da ISO 14001.

4.2.2.2.2 Empresa A4

A empresa A4 atua na reciclagem de lâmpadas fluorescentes há 4 anos e possui unidades de tratamento em Nuremberg e Baar. A unidade de Baar processa atualmente somente lâmpadas quebradas. O equipamento é diferente da unidade de Nuremberg, pois as lâmpadas quebradas devem ser processadas em equipamento específico. Então, as lâmpadas que chegam danificadas na planta de Nuremberg são colocadas em *big bags* e encaminhadas para Baar.

O vidro de alta qualidade obtido no processo de reciclagem é encaminhado para a fábrica de vidro do fabricante de LF, localizada em Augsburg. Desta forma, são fabricados vidros para novas lâmpadas. Já o vidro de baixa qualidade, retirado dos terminais de alumínio e correspondente a cerca de 10% da quantidade total de materiais obtidos, é encaminhado para aterro de resíduos perigosos.

Quando o filtro de carvão ativado satura, este também é encaminhado para aterro de resíduo perigoso, sendo o custo de 2.000 Euros/t.

Medições de mercúrio são realizadas no processo diariamente e seguem definições e limites da instrução técnica *TALuft*.

O vidro obtido do processo é encaminhado ao fabricante de LF, o qual por sua vez realiza as análises das quantidades de mercúrio. Dependendo do resultado das análises, pode realizar tratamento por sucção ou tratamento térmico para retirar o mercúrio, de acordo com o valor estabelecido pela *ElektroG*. Os componentes eletrônicos das lâmpadas fluorescentes compactas são encaminhados para empresa especializada, a qual realiza desmontagem e separação dos metais valiosos. Em seguida, o material restante segue para processo de fragmentação (*shredder*) e é destinado para aterro de resíduos perigosos.

Foi apresentado relatório reportado aos fabricantes sobre as quantidades de materiais que entram e que saem após o processo de reciclagem. Este relatório é reportado ao governo pelos fabricantes, após acrescentar informações sobre as quantidades coletadas, então serve como base para verificar a conformidade com a meta de reciclagem estabelecida na lei *ElektroG*.

Em visita à planta em Baar foi possível visualizar o processamento de lâmpadas quebradas em equipamento do fabricante Herborn, sendo o processo realizado no interior da carroceria de um caminhão. A visita foi acompanhada pelo fabricante, o qual classificou a tecnologia como um tipo de *shredder*. *Big bag* contendo as lâmpadas fluorescentes gera a alimentação do sistema, o qual é conduzido em esteira fechada, para evitar o escape de mercúrio. As lâmpadas são conduzidas a um triturador, de tal forma que os terminais de alumínio não sejam destruídos, mas realiza a separação do vidro aderido aos terminais e de outros materiais como cola e eletrodos. O vidro dos terminais é coletado em um tambor. O outro tipo de vidro é coletado em um *container* localizado no interior do veículo. O pó de fósforo é coletado através de sucção em sistema de filtro. Utiliza-se filtro de carvão ativado e aquecimento do sistema, para gerar a ativação do filtro. Acoplado

ao sistema há um processo de resfriamento. Os terminais e o vidro também passam por um sistema de aquecimento, de 300 a 500 °C, visando retirar o residual de mercúrio. A instalação do equipamento é realizada utilizando pressão negativa. O equipamento observado é considerado do tipo móvel, pois devido a sua instalação no interior de um caminhão, possibilita a movimentação da unidade.

Medições de mercúrio são realizadas em pontos específicos do processo, conforme definido em legislação específica.

O fabricante Herborn também oferece a tecnologia de *cap separation method*, a qual processa lâmpadas fluorescentes tubulares de diferentes comprimentos, através de alimentação automática. O princípio da tecnologia é similar ao processo de *shredder* descrito anteriormente. As lâmpadas são alimentadas automaticamente em esteira em sistema enclausurado e passam por contador eletrônico automático. Este método pode ter várias adaptações, dependendo das necessidades relacionadas à legislação, como limites definidos para mercúrio nas frações obtidas, bem como é influenciado por demandas específicas do cliente. Estas variantes do processo incluem a solicitação por sistemas móveis ou estacionários e podem ainda ter uma unidade de destilação acoplada. Atualmente a tecnologia de *cap-separation* não está sendo utilizada na Alemanha, mas sim por outros países da União Européia.

Segundo Herborn (2012), este método possui algumas vantagens em relação ao processo de *end cut*, pois permite ser projetado em sistemas mais compactos, não é necessária a pré-seleção das lâmpadas e ocorrem menores perdas de vidro. Entretanto, o vidro obtido é menos transparente do que pela tecnologia de *end cut*, mas não gera problemas na reciclagem, nem no teor de mercúrio permitido por lei.

4.2.2.2.3 Empresa A5

A maior empresa recicladora de lâmpadas da Alemanha é a companhia A5. Atua na reciclagem de lâmpadas desde 1989. Esta companhia possui frota própria de caminhões e possui parceria com a associação A1. A unidade de reciclagem de lâmpadas da empresa A5 está localizada em Essen. A planta de Bad Oeyhausen

realiza a compactação das lâmpadas, favorecendo ao transporte de lâmpadas fluorescentes usadas. A unidade em Dorsten promove a recuperação de mercúrio, sendo a capacidade anual de 500 t para o processamento de resíduos mercuriais. Esta planta também realiza a recuperação de filtros de carvão ativado.

A capacidade de reciclagem da unidade de Essen é de 2 t/h, com a tecnologia de fragmentação do vidro por via úmida. Seu processamento em 2011 foi de aproximadamente 27 milhões de lâmpadas. O seu processo consiste em uma etapa de pré-tratamento, sendo realizada em equipamentos distintos para lâmpadas tubulares e compactas. Na sequência o pó fluorescente é separado do vidro através de lavagem e vibração. O material é direcionado para outro equipamento, no qual ocorre a separação dos metais pelo uso de peneiras e ímãs. O pó fluorescente contendo mercúrio é encaminhado para equipamento de destilação, visando a recuperação do mercúrio. Através do processamento de 200.000 lâmpadas fluorescentes compactas podem ser obtidos aproximadamente 80 ml de Hg. O mercúrio pode ser estabilizado através da sua conversão para sulfeto de mercúrio.

Os fluxogramas do processo de reciclagem de LF tubulares e LF compactas da empresa A5 estão nos ANEXOS B e C.

Monitoramento de mercúrio na planta de Dorsten é realizado diariamente através de medidor eletrônico, automático.

No caso de quebras de lâmpadas fluorescentes, utiliza-se aspirador industrial equipado no seu interior com filtro de carvão ativado.

4.3 COMPARATIVO GERAL

Visando estimar a geração de resíduos do Brasil, realizou-se a comparação dos dados de importação obtidos através do sistema *Aliceweb* do MDIC, em 2011, (288 milhões), somando-se a produção nacional (32 milhões). Então, obteve-se o valor de 320 milhões de unidades de lâmpadas fluorescentes. Através das visitas técnicas realizadas, das informações recebidas das recicladoras por correio eletrônico e dos dados obtidos por Polanco (2007), tornou-se possível estimar o

processamento de lâmpadas fluorescentes no Brasil, em aproximadamente 12,35 milhões de unidades, em 2011, conforme a TABELA 20. Os dados para a capacidade de processamento da recicladora B6 foram obtidos de estudo realizado em 2007. Desta forma, este valor foi considerado como processamento de 2011, pois a recicladora pode ter atingido ou ultrapassado esta capacidade depois de 4 anos. Os dados obtidos através deste estudo, na TABELA 20, no caso da recicladora B7 e B3, os valores são referentes a todas as lâmpadas processadas, sendo informado pelas recicladoras que, em média, 90%, correspondeu a LF. Então, aplicou-se um fator de 0,90 em relação ao total. Referente à recicladora B8, foi adotado um fator de 0,60 para obter o processamento de LF, pois este foi informado pela empresa.

Considerando o processamento total estimado em 12,35 t, para o ano de 2011, e o índice de reciclagem de 6%, obteve-se uma geração de resíduos de aproximadamente 206 milhões de unidades de lâmpadas fluorescentes usadas, em 2011. Este valor está próximo do valor de 200 milhões, informado pela recicladora B5 durante a visita realizada.

Por outro lado, avaliando os dados apresentados pela ABILUX (2010), conforme a TABELA 10 e realizando cálculos reversos, obtém-se a geração de resíduos de aproximadamente 137 milhões de unidades de lâmpadas para 2012 e de cerca de 207 milhões estimados para 2015. No entanto, estes valores não foram considerados, pois não está claro se foram contabilizadas as lâmpadas importadas e porque a política de eficiência energética tem como última fase o ano de 2016, levando a crer que estes valores podem estar subestimados em relação à geração de resíduos.

TABELA 20 – PROCESSAMENTO DE LF NO BRASIL

RECICLADORA	CAPACIDADE ESTIMADA DE PROCESSAMENTO DE LF (MILHÕES DE UNIDADES/ANO)	PROCESSAMENTO ESTIMADO DE LF (MILHÕES DE UNIDADES/ANO)	ANO REFERÊNCIA
B5 (planta 1)	6,00	3,00	2011
B5 (planta 2)	4,20	1,52	2011
B6	1,80	1,80	2007
B7	2,04	1,53	2011
B8	2,40	1,44	2011
B9	1,70	-	-
B4	1,00	0,81	2011
B3	3,60	2,25	2011
SOMA	22,74	12,35	

Comparando a geração estimada de resíduos de lâmpadas fluorescentes usadas, de 206 milhões de unidades, em 2011, com 100 milhões em 2007 (MRT System, 2007 *apud* SANCHES, 2008), verifica-se um aumento de 106% em 4 anos. O aumento médio da geração de resíduos foi de 26,5% ao ano. Para o cálculo da geração de resíduos em 2012, considerou-se esta média, pois não se obteve o valor do aumento anual dos resíduos. Desta forma, obteve-se a geração estimada de resíduos de LF, prevista para 2012, em aproximadamente 260 milhões de unidades.

Este valor está próximo ao parque de LF, da pesquisa da Eletrobrás (2009), sendo o montante em uso superior a 263 milhões de unidades, com tempo de vida útil não determinado. Vale a pena ressaltar que o parque de total de lâmpadas, considerando as lâmpadas incandescentes, é de aproximadamente 526 milhões de unidades. Levando em consideração que nem todas as LF chegarão ao tempo de vida de 6 anos e às políticas de eficiência energética existentes, prevê-se a substituição das incandescentes pelas fluorescentes até 2016, então a geração de resíduos adotada considerada neste cálculo, ainda pode estar subestimada.

Sendo assim, torna-se essencial para a implantação da logística reversa o controle adequado pelo setor com maior precisão da quantidade destas lâmpadas que circulam no país e adotar uma metodologia oficial para o cálculo de resíduos de lâmpadas, para que este sistema seja eficiente, visando reduzir os impactos ambientais. Na Alemanha esta atividade é realizada pela entidade EAR em conjunto com a agência ambiental, sendo a EAR responsável pelo registro das quantidades produzidas, importadas e da quantidade de lâmpadas fluorescentes usadas coletadas e recicladas.

Através do estudo, pelos dados da TABELA 20, a capacidade instalada de processamento foi estimada em 22,74 milhões de unidades/ano, equivalente a 11% da geração de lâmpadas fluorescentes usadas, em 2011 (206 milhões de unidades de LF). Sendo assim, considera-se importante o uso de fundos nacionais disponíveis como o do BNDES para ampliação das recicladoras atuais e a criação de incentivos fiscais, como a redução de impostos relacionados a esta atividade, de forma a proporcionar investimentos nesta área. De acordo com MDIC (2011), o desembolso do BNDES para máquinas, aparelhos e materiais elétricos, para o ano de 2010 em relação a 2009, apresentou aumento de apenas 3,4%. Desta forma, existem grandes

oportunidades de melhoria para elevar este índice, devido às novas demandas previstas no setor de reciclagem de lâmpadas fluorescentes.

No caso da Alemanha, os dados de produção de lâmpadas fluorescentes fornecidos pelo ZVEI (2010), 121 milhões de unidades, estão abaixo dos valores de 181 milhões de unidades obtidos do relatório do escritório de estatística. Esta diferença pode estar relacionada, ao fato de que nem todos os fabricantes de lâmpadas fluorescentes podem estar associados ao ZVEI. Então, como os dados de comercialização de lâmpadas de descarga de gás, mais atuais e consolidados pela agência ambiental alemã, estão disponíveis, considerou-se a geração de resíduos para 2012 de aproximadamente 160 milhões de unidades.

Considerando a TABELA 17, obtém-se o valor de 43 milhões de LF processadas por ano na Alemanha, sendo a capacidade instalada estimada em 121 milhões de LF por ano. Este valor em relação a geração de resíduos prevista para 2012, gera um índice de atendimento a demanda de 76%. Assim, a capacidade das recicladoras da Alemanha, apesar de índice maior do que o do Brasil, também não atende a demanda total da geração estimada de resíduos.

Através da TABELA 21, observa-se um comparativo de informações gerais obtidas e estimadas para o Brasil e Alemanha para o ano de 2012.

TABELA 21 - COMPARATIVO GERAL ENTRE BRASIL E ALEMANHA

ITEM	ALEMANHA	BRASIL
Geração de Resíduos de LF/ ano	160.000.000 ^(1,2)	260.000.000 ⁽²⁾
Índice de Reciclagem/geração	30% ⁽¹⁾	6% ⁽³⁾
Capacidade das recicladoras/ geração	76% ⁽²⁾	11% ⁽²⁾
Pontos de coleta	8.200 Previstos 8.000 para 2012, em lojas ^(4,5)	264 atuais e previstos 8.000 para 2012 ^(6,7)
População	81.800.000 ⁽⁸⁾	190.732.694 ⁽⁹⁾
Território (km ²)	357.000 ⁽¹⁰⁾	8.514.877 ⁽¹¹⁾
Densidade populacional (habitante/km ²)	229 ⁽²⁾	22 ⁽²⁾
Uso da tecnologia de recuperação de Hg	Sim ⁽²⁾	Sim ⁽²⁾
Uso da tecnologia de recuperação de terras raras	Sim ^(2, 12)	Não observado ⁽²⁾

FONTE: BMU (2008) ⁽¹⁾; PESQUISA (2012) ⁽²⁾; MRT SYSTEM (2007) apud SANCHES (2008) ⁽³⁾; LIGHTCYCLE (2012) ⁽⁴⁾; EU-RECYCLING (2011) ⁽⁵⁾; MINISTÉRIO DAS CIDADES (2009) ⁽⁶⁾; ABILUX, (2012) ⁽⁷⁾; STATISTICHES BUNDESAMT (2011) ⁽⁸⁾; IBGE (2010) ⁽⁹⁾; STATISTICHES BUNDESAMT (2009a) ⁽¹⁰⁾; IBGE (2012) ⁽¹¹⁾; BONMANN (2012) ⁽¹²⁾.

Segundo Wagner (2011), pequenas taxas de reciclagem estão relacionadas ao desconhecimento quanto aos requisitos, a falta da conveniência do sistema de coleta, como a distância e falta de informação sobre a localização dos pontos. No caso do Japão que possui baixos índices de reciclagem de produtos que contêm mercúrio, em torno de 4%, não existem regulamentações que estabeleçam limites para o uso de mercúrio (ASARI; FUKUI; SAKAI, 2008).

Considerando a população brasileira de aproximadamente 191 milhões (IBGE, 2010), e a produção/importação estimada em 320 milhões lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares no Brasil, tem-se um consumo de LFC per capita de 1,68.

Existe uma tendência para a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LED, isentas de mercúrio. Entretanto, a quantidade de lâmpadas fluorescentes vendidas mundialmente por ano, é estimada em mais de 4 bilhões de unidades (IEA, 2006). Além disso, o parque brasileiro de lâmpadas fluorescentes, segundo a Eletrobrás (2009) é de mais de 263 milhões de unidades e o parque total é de 526 milhões de unidades de lâmpadas. Então, a reciclagem das lâmpadas fluorescentes, continua sendo fundamental para reduzir os impactos ambientais associados a sua utilização.

Constata-se que a maior parte dos países incentivou a troca das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes, mas sem a estruturação prévia de um sistema de logística reversa, visando recuperar os materiais recicláveis e evitar a exposição da população ao mercúrio e a sua liberação para o meio ambiente (SILVEIRA; CHANG, 2010). Os riscos relacionados à toxicidade do mercúrio e a localização dos pontos que possuem coleta de lâmpadas ainda são desconhecidos pela maior parte da população.

Com relação ao questionamento às recicladoras sobre o procedimento a ser adotado no caso da quebra de lâmpadas fluorescentes, a pergunta estava muito ampla de forma que as respostas obtidas foram sobre a quebra em ambiente industrial ou no consumidor final. Quando respondido sobre o ambiente industrial, a maioria faz uso de um aspirador industrial equipado com filtro de carvão ativado. Quando respondido sobre a quebra no consumidor final, não se teve um padrão de resposta e foi observada a falta de indicação do procedimento adequado.

Desta forma, para reforçar as informações ambientais ao consumidor e contemplar a participação de todos os envolvidos no retorno das lâmpadas fluorescentes pós-consumo, as instruções sobre os riscos do mercúrio, o que fazer no caso de quebras e o descarte adequado, podem estar dispostos em painéis explicativos nas redes de varejo, escolas e nas contas de energia elétrica.

Para a coleta de resíduos é necessário estruturar o transporte, desde os pontos de recolhimento até às unidades para a destinação final (BARROSO; MACHADO, 2005). Uma série de fatores contribui para aumentar a participação do consumidor, como a proximidade dos recipientes para descarte dos resíduos, acesso a informação da localização destes coletores, facilidades na estocagem e frequência de coleta. Para que isso seja estabelecido, deve ser apoiado por mais campanhas sobre reciclagem. Os investimentos para esta estruturação podem ser compensados pelas coletas adicionais geradas, no caso do não envolvimento dos consumidores (VALLE *et al.*, 2009).

A estruturação da logística reversa torna-se cada vez mais necessária, devido às políticas de banimento do uso de lâmpadas incandescentes, o que conduz ao elevado crescimento do consumo de lâmpadas fluorescentes. Assim, através da realização da logística reversa é possível reverter o quadro atual de destinação das lâmpadas para diferentes modalidades de aterro, elevar os índices de reciclagem existentes, reduzir os preços de processamento, devido ao aumento das quantidades de lâmpadas que chegarão às unidades de tratamento, também promover a geração de novos negócios e evitar os impactos ambientais negativos.

A logística reversa deveria fazer parte da análise do ciclo de vida do produto, favorecendo a definição de elementos importantes para o seu planejamento. Pode-se observar que através da ACV, uma pequena parcela de resíduos gerados é constituída por materiais radioativos (TECHATO; WATTS; CHAIPRAPRAT, 2009). O resíduo radioativo citado por Techato, Watts e Chaipraprat (2009) pode ser proveniente da reciclagem de metais, na qual pode ocorrer a presença de contaminantes oriundos de outros materiais metálicos neste processo e pela presença destes elementos em alguns acionadores de partida das lâmpadas. Porém, como as referências sobre o assunto são praticamente inexistentes, somente está citado para despertar a atenção sobre o assunto, mas não será considerado como tema de relevância para este estudo.

Atualmente, os sistemas de retorno de lâmpadas fluorescentes usadas no Brasil ainda estão em estruturação. Na Alemanha, o sistema está mais avançado, principalmente devido à legislação instituída desde 2005, a qual engloba a gestão de LF em fim de vida. No Brasil, segundo a ABILUX (2012) o início da implantação efetiva da logística reversa está previsto para 2012.

Avaliando as tecnologias das empresas visitadas no Brasil e na Alemanha, obteve-se o QUADRO 7, o qual compara as técnicas de reciclagem.

RECICLADORAS BRASIL	RECICLADORAS ALEMANHA
Sopro + tratamento térmico (recuperação de mercúrio)	Corte de terminais
Moagem + tratamento térmico (recuperação Hg)	-
-	<i>Shredder</i>
Moagem via úmida + tratamento químico	Moagem via úmida + recuperação de mercúrio
-	Extração específica de produtos

QUADRO 7 – COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

A realização da comparação das tecnologias baseou-se nas principais etapas do processo, entretanto, caso seja realizado o detalhamento de todas as etapas dos métodos utilizados pelas empresas, a comparação torna-se mais precisa, podendo gerar alguns diferenciais da avaliação realizada. Entretanto, devido a maior parte destes detalhes serem considerados confidenciais e algumas vezes inacessíveis, o estudo fica limitado ao comparativo das principais características das tecnologias de reciclagem observadas.

Desta forma, avaliando-se as tecnologias das empresas visitadas no Brasil e na Alemanha, pode-se dizer que a tecnologia de corte de terminais empregada para lâmpadas fluorescentes tubulares é similar a tecnologia de corte dos terminais/sopro utilizada no Brasil. Entretanto, as empresas visitadas na Alemanha que fazem uso da tecnologia de corte de terminais, não realizam a recuperação do mercúrio. A tecnologia de extração de componentes específicos para lâmpadas fluorescentes compactas, somente foi verificada na Alemanha. A tecnologia de moagem via úmida do Brasil e da Alemanha podem ser consideradas semelhantes, principalmente devido à quebra do vidro por via úmida em ambos os casos, sendo empregada para todos os tipos de lâmpadas fluorescentes. O método de *shredder*, o qual emprega trituração e posterior separação por peneiras, somente foi evidenciado na Alemanha e o método de trituração ou moagem simples, em alguns lugares do Brasil chamado

de papa lâmpadas, sistema móvel, o qual pode operar com todos os tipos de lâmpadas, foi observado somente no Brasil. O método de moagem simples ou trituração associado a recuperação térmica do mercúrio somente também foi somente verificado no Brasil.

Cada uma das tecnologias avaliadas possui obtenção de frações com diferentes graus de pureza, desta forma ocasionando a variação da destinação dos materiais obtidos. Segundo Valle *et al.* (2009), os desafios relevantes de um sistema de logística reversa são a minimização dos custos estratégicos e a garantia da absorção dos materiais reciclados pelo mercado.

No QUADRO 8 podem ser visualizadas as destinações dos principais materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes. Os dados deste quadro foram obtidos através de revisão de literatura e das visitas realizadas nas empresas localizadas na Alemanha (A3, A4 e A5), visitas em empresas no Brasil (B3, B4 e B5) e resposta dos formulários das recicladoras de lâmpadas B7 e B8.

Comparando a destinação dos materiais obtidos do processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes, no caso do vidro de alta qualidade, verifica-se que um dos diferenciais é a destinação do vidro na Alemanha para a fabricação de novas lâmpadas e no caso do Brasil para a fábrica de cerâmica, pois não há fábrica de tubos de vidro de lâmpadas no Brasil (ABIVIDRO, 2012; OSRAM, 2012). O vidro na Alemanha que é destinado ao próprio fabricante de lâmpadas, têm as análises do teor de mercúrio realizadas no recebimento deste material, devido ao limite previsto na lei *ElektroG*, 5mg Hg/kg de vidro. Desta forma, é possível o retorno da maior parte do vidro recuperado da reciclagem de lâmpadas para a manufatura de novos tubos de vidros para as lâmpadas fluorescentes.

A opção avaliada para a reutilização do vidro de lâmpadas no estudo realizado por Nagaoka *et al.*, 2005, não tornou possível verificar o preparo das lâmpadas e a liberação de mercúrio pela remoção das extremidades na montagem dos coletores de energia solar. Desta forma, são necessárias melhorias na metodologia adotada para realização de novas avaliações sobre a reutilização de lâmpadas fluorescentes.

Outra diferença entre Brasil e Alemanha em relação à destinação dos materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes, constitui-se na destinação do pó de fósforo para a recuperação dos elementos terras raras na

Alemanha e no caso do Brasil para a fábrica de cerâmica, indústria de tintas e pigmentos.

DESTINAÇÃO DOS MATERIAIS OBTIDOS DA RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES				
MATERIAL	LITERATURA		RECICLADORAS ALEMANHA	RECICLADORAS BRASIL
	Fonte	Destinação		
Vidro	Durão Júnior, Windmöller, 2008; ZVEI, 2008	- Fabricação de vidros para novas lâmpadas	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de vidros para novas lâmpadas - Fabricação de outros vidros - Utilização em pavimentação/ obras - Fibras isolantes - Aterro para resíduo perigoso 	<ul style="list-style-type: none"> - Fábrica de cerâmica - Co-processamento - Aterro classe I e II
	Mombach, 2006; ELC, 2011 Bó, Silva e Oliveira, 2009	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de fritas cerâmicas - Fabricação de vetrosas 		
	ELC, 2011	- Tijolos de concreto		
	Jang, Hong e Park, 2005	- Fabricação de fibras de vidro isolantes		
	Nagaoka <i>et al.</i> , 2005	- Coletores de energia solar		
Metais	Durão Júnior, Windmöller, 2008.	- Fundição	<ul style="list-style-type: none"> - Fundição - Empresa especializada na separação do alumínio do ferro 	<ul style="list-style-type: none"> - Fundição e Siderúrgica - Empresa especializada na separação de metais
	ZVEI, 2008			
Pó de Fósforo	ZVEI, 2008; ELC, 2011	- Aterro para resíduo perigoso	<ul style="list-style-type: none"> - Aterro para resíduo perigoso - Processo de recuperação de elementos terras raras 	<ul style="list-style-type: none"> - Aterro classe I - Fabricação de cerâmica - Indústria de tintas e pigmentos
	Hirajima <i>et al.</i> 2005b; ZVEI, 2008; Rabah, 2008; Schüller <i>et al.</i> , 2011; Osram GmbH, 2011; General Electric Company, 2011; Rhodia Operations, 2010; Michelis <i>et al.</i> , 2011; Barthel, 2012; Bonmann, 2012	- Processo de recuperação de elementos terras raras		
Mercúrio	ELC, 2011	- Indústria de mercúrio	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria química - Indústria de cloro álcali - Amalgamas dentárias - Indústria de lâmpadas - Equipamentos de medição usados em medicina 	<ul style="list-style-type: none"> - Indústria de reagentes químicos - Mineração de ouro - Niquelação de ferro - Doação para experimentos em instituto de pesquisa - Aferição de instrumentos de medição - Exportação - Aterro classe I (quando realizada a disposição do pó de fósforo ou dos outros materiais contendo mercúrio)
	ELC, 2011	- Indústria de lâmpadas		
	ELC, 2011; ZVEI, 2008	- Aterro para resíduo perigoso		
Plástico e componentes eletrônicos	ZVEI, 2008	- Recuperação energética	<ul style="list-style-type: none"> - Empresa especializada e aterro para resíduo perigoso 	<ul style="list-style-type: none"> - Empresa especializada na separação destes componentes e para aterro classe I

QUADRO 8 - DESTINAÇÃO DOS MATERIAIS OBTIDOS DA RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

Em relação ao mercúrio as destinações são diversas, no caso da Alemanha, parte do mercúrio retorna para a indústria de lâmpadas e no caso do Brasil, esta destinação não foi evidenciada. O Brasil apresentou destinação de parte do mercúrio da reciclagem de lâmpadas fluorescentes para a mineração de ouro. Uma parcela deste mercúrio também é encaminhada para a indústria química, uso em equipamentos de medição e para sua aferição, em ambos os países. No caso da Alemanha, o destino de mercúrio para a indústria de cloro-álcali, está previsto até 2020, devido a acordo estabelecido entre o setor e o governo, permitindo utilizar o mercúrio para obtenção de cloro e de soda até esta data. No Brasil, uma parcela do mercúrio recuperado da reciclagem de lâmpadas fluorescentes é também destinada para institutos de pesquisa, niquelação de ferro e outra parte é disponibilizada para a exportação. Alguns materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas são dispostos em aterro, o que carrega parte do mercúrio presente nas lâmpadas fluorescentes usadas.

Através dos dados e informações obtidas neste estudo, tornou-se possível avaliar as principais interfaces dos *stakeholders* envolvidos na reciclagem de lâmpadas fluorescentes.

Na fase de fabricação é importante destacar que a existência de legislações são fundamentais na estruturação da cadeia de logística reversa e consequentemente impactantes na reciclagem de lâmpadas. Os princípios da PNRS e da *ElektroG* (gestão de REEE) são semelhantes, como o do poluidor pagador. No entanto, a legislação alemã não estabelece a participação obrigatória dos comerciantes e distribuidores. Além disso, outra diferença é que ainda não foi instituída no Brasil uma regulamentação federal específica para gestão de lâmpadas fluorescentes, como a *ElektroG* da Alemanha.

Através do que é estabelecido na *ElektroG* o poder público deve prover os coletores para a coleta seletiva dos municípios, sendo que os fabricantes e importadores devem realizar a organização da coleta.

As diretivas da União Européia dão direcionamentos para o gerenciamento de resíduos, almejando em primeiro lugar, prevenir a geração de resíduos, depois reutilização ou reciclagem e em último caso minimizar os impactos oriundos do tratamento e descarte do resíduo. A responsabilidade pela coleta dos resíduos é designada aos fabricantes, pelo princípio do poluidor-pagador. Os produtos descritos

na diretiva são divididos em classes, sendo também definidas metas de valorização, reutilização e reciclagem (BARROSO; MACHADO, 2005).

Para organizar o sistema alemão de coleta de lâmpadas usadas foram criadas associações e agências vinculadas ao governo. Vale a pena ressaltar que o modelo alemão, possui uma legislação que tem papel fundamental no controle do uso de mercúrio em EEE. A diretiva europeia 2002/95 fixa limites de mercúrio, de acordo com o tipo de lâmpada, evitando que quantidades desnecessárias de mercúrio sejam empregadas na fabricação de lâmpadas fluorescentes. Além desta, há outra legislação, chamada *TA Luft*, sobre o controle da qualidade de ar externo, fixando limites para o mercúrio em $0,05 \text{ mg/m}^3$, aplicável às instalações que realizam a reciclagem de lâmpadas. No Brasil, conforme a TABELA 15, não há limite de mercúrio para este tipo de monitoramento.

A *ElektroG* fixa o índice de reciclagem em 80% do peso das lâmpadas, entretanto metas para a coleta ainda não estão definidas. Torna-se importante que na próxima revisão desta lei, seja inserido um *target* para a quantidade de lâmpadas coletadas e consequentemente uma metodologia para o cálculo dos resíduos. Nesta lei também é estabelecida a remoção do mercúrio, entretanto, não se define sobre a sua recuperação e nem as possíveis destinações. Complementando-se a este fator, a legislação de aterros, permite que para a classe III, o recebimento de resíduos com até $0,2 \text{ mg/L}$ de mercúrio após o teste de lixiviação da amostra. Desta maneira, com o mercado do pó de fósforo ainda em formação, a prática de envio do pó fluorescente contendo mercúrio, obtido da reciclagem de lâmpadas fluorescentes, para este tipo de depósito pode ocorrer.

Através da *ElektroG* além dos padrões para gerenciamento do REEE, existem condições gerais para a utilização de coletores de lâmpadas. No Brasil, devido a ANTT 420 é necessária a validação destes coletores. Entretanto, este fator ainda não está claro para o setor e ainda gera muitas discussões. Além disso, nestas legislações muitos documentos são exigidos para realizar o transporte de resíduos perigosos, gerando entraves na realização desta operação para o setor transportador. Na Alemanha, grande parte da burocracia foi retirada, após discussões entre o governo e os setores envolvidos, ficando somente o documento contendo informações sobre a ordem do pedido e assinatura do gerador, transportador e reciclador. Atualmente, certificado contendo a validação por entidade

externa do tipo de veículo e dos *containers* utilizados para o transporte, acompanha a operação logística.

As lâmpadas fluorescentes usadas podem ter várias origens, como do segmento industrial, comercial e residencial. Segundo Raposo (2001) o descarte de lâmpadas fluorescentes, em muitos países, realiza-se através da distribuição reversa, pela devolução da lâmpada queimada no local da compra. Através deste estudo, verificou-se que esta prática está sendo desenvolvida na Alemanha através da colocação de pontos de coleta nestes locais, visando elevar o índice de reciclagem, pois a participação dos comerciantes é voluntária. O Brasil possui na PNRS, instituída em 2010 a obrigatoriedade da participação dos comerciantes e distribuidores, devido ao princípio da responsabilidade compartilhada. Pesquisa realizada por Sampaio (2009) em Pelotas (RS), demonstrou que índice superior a 58% dos estabelecimentos estavam recebendo as lâmpadas usadas, entretanto encontraram dificuldades no recebimento destas pelos fornecedores, ocasionando o armazenamento destes produtos pós-consumo por tempo indefinido. Desta forma, verifica-se que é importante a frequência de coleta das LF usadas ou procedimento de recolhimento definido.

Com isso, também se evidencia que o comprometimento dos comerciantes e distribuidores é fundamental, mas também deve ser criada a infraestrutura necessária, até os recicladores para que a sistemática seja eficaz. Neste caso a PNRS impulsiona a estruturação desta sistemática, através da logística reversa e a definição de padrões a serem adotados nos pontos de coleta.

Os coletores utilizados para a coleta e transporte de lâmpadas fluorescentes da associação A1 são padronizados. A colocação de coletores em distribuidores iniciou recentemente e alguns utilizam coletores com divisórias. Os coletores que podem ser considerados mais adequados para lâmpadas fluorescentes são os que possuem divisórias e o filtro de carvão ativado no seu interior, como os apresentados nas FIGURAS 4 e 5. Entretanto, avaliações sobre custos e liberação de mercúrio devem ser conduzidas para definição do melhor tipo a ser adotado.

Os resultados de medições de mercúrio solicitadas pela associação A1 em coletores dispostos em pontos de venda, demonstrou que adotando os cuidados para evitar quebras, estando os recipientes em ambiente com área maior do que 40 m², com circulação de ar de 100 m³/h, não representam riscos à saúde.

Em relação às operações logísticas, a organização do país em regiões logísticas, como na Alemanha, conforme a geração de lâmpadas e densidade populacional, além de operadores logísticos estrategicamente localizados, favorece a redução dos custos, através de consolidação das cargas e a otimização das rotas até o reciclador.

A condução adequada das atividades de reciclagem, conforme os requisitos da lei é avaliada através de auditorias externas contratadas pelo reciclador, as quais geram a certificação na lei *ElektroG*, a qual significa a permissão para a realização das operações.

Para incentivar a participação dos consumidores, é fundamental a disponibilização de informações sobre os riscos que este tipo de lâmpada pode causar à saúde e ao meio ambiente, bem como ampla divulgação dos pontos de coleta e sobre os símbolos utilizados para a rotulagem das lâmpadas. A associação A1 disponibiliza informação sobre pontos de coleta e o que fazer em caso de quebras, em *website* próprio.

As informações sobre o manuseio e o que fazer no caso de quebras, são consideradas muito importantes. Segundo a associação A1, uma das recomendações em caso de quebra, consiste em deixar o local em que ocorreu a quebra e somente retornar para realizar o procedimento de limpeza, após pelo menos 15 min. Esta recomendação pode estar relacionada ao fato de que 80% do mercúrio inalado é absorvido pela corrente sanguínea (WHO, 2011b).

Segundo Hu e Cheng (2012), através da rotulagem adequada de lâmpadas fluorescentes, ocorrem benefícios em relação à coleta e disposição de forma segura. Além disso, certos cuidados devem ser adotados, a fim de evitar quebras durante estas atividades e a de transporte.

A educação ambiental também precisa ser melhor inserida na sistemática de logística reversa, pois é fundamental para gerar o retorno do produto usado nas condições em que possa ser reciclado. Na Alemanha, campanhas sobre a destinação de lâmpadas usadas estão sendo realizadas em escolas. Desta maneira, através da conscientização dos mais jovens, ocorre a sustentabilidade do programa e a melhoria contínua nos índices de destinação.

4.4 PROPOSTA DE MODELO DE LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES PARA O BRASIL

Pode-se adotar para o Brasil uma estrutura de logística reversa pós-consumo para lâmpadas fluorescentes usadas, similar ao sistema alemão (FIGURA 11). Através dos dados obtidos neste trabalho foi possível propor um modelo apresentado na FIGURA 16 que está em consonância com o GTT de lâmpadas.

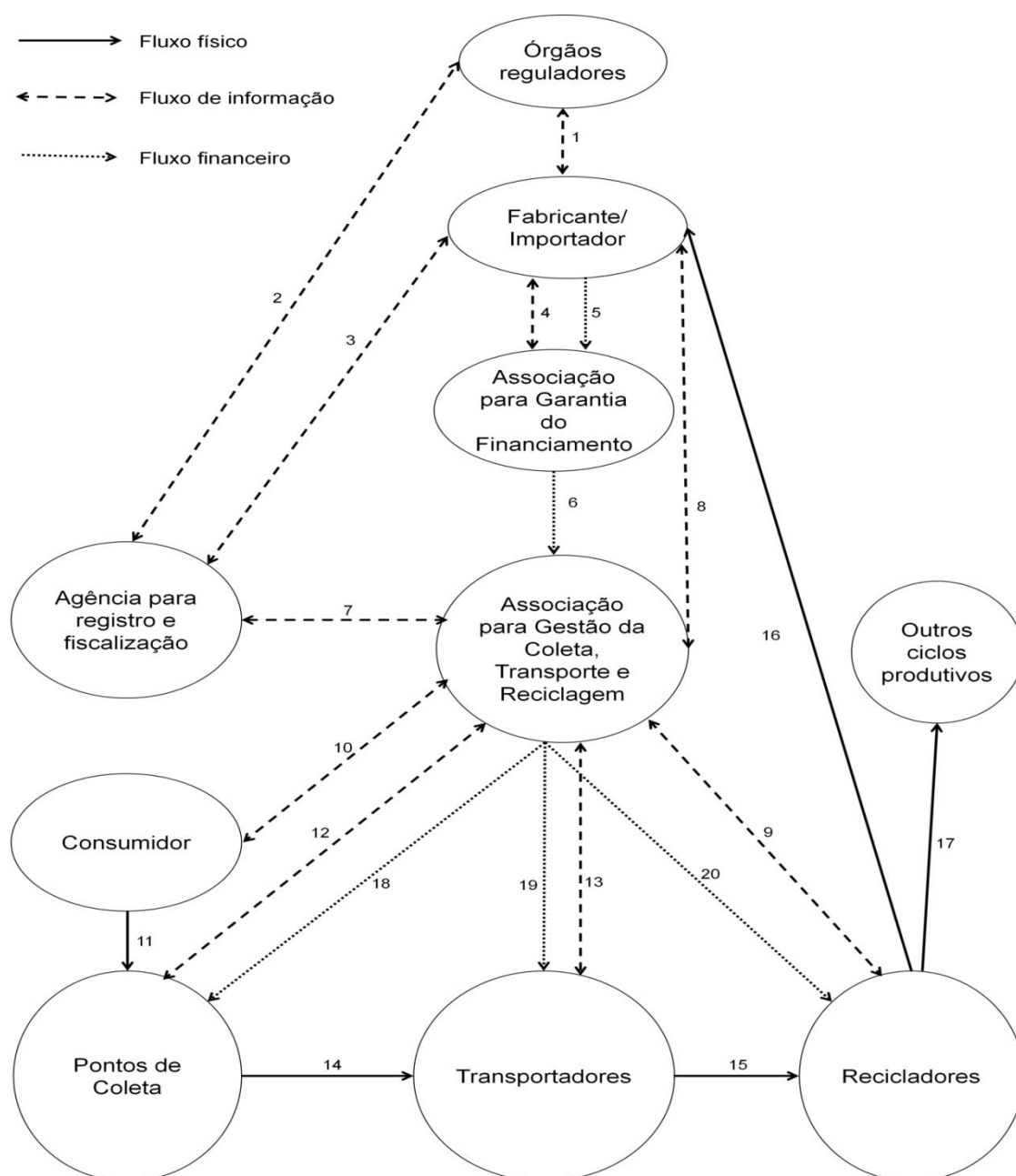


FIGURA 16 – MODELO PROPOSTO PARA O BRASIL

Outro sistema que pode ser usado como base e que apresenta bons resultados no Brasil é o sistema de retorno de embalagens de agrotóxicos, este já se encontra consolidado e referência para outros países. Através de decreto dispõe sobre aspectos relacionados à rotulagem, transporte, destinação de resíduos, embalagens, dentre outros. No caso da rotulagem dos agrotóxicos, a identificação dos perigos, instruções para manuseio e armazenamento são obrigatórios. Além disso, define-se a obrigatoriedade dos endereços dos locais para a devolução das embalagens na nota fiscal do produto, sendo os pontos de recebimento devidamente cadastrados e licenciados (BRASIL, 2002).

O modelo proposto para o Brasil para logística reversa de lâmpadas fluorescentes contempla algumas adaptações e considerações em relação ao modelo alemão. A primeira mudança pode ser dita como a concentração da administração da coleta, transporte e reciclagem em somente uma associação sem fins lucrativos, pois torna o sistema menos complexo e mais eficiente. As definições, visando evitar monopólio das atividades podem estar na legislação específica a ser criada, não necessitando a criação de outras associações. A segunda, está relacionada a realização de todas as solicitações de coleta via sistema e diretamente a esta entidade, sem intermediários.

Os órgãos reguladores determinam as regras para o sistema. Para exemplificar estes órgãos podem ser a ABNT, ABILUX, ABILUMI, INMETRO, ELETROBRÁS, o senado e a câmara de vereadores. A seta 1 indica o fluxo de informação dos órgãos regulamentadores para o fabricante/importador e a retroalimentação do sistema pelas informações oriundas da própria sistemática. Considera-se essencial para a implantação da logística reversa, a criação de uma regulamentação federal específica para lâmpadas fluorescentes, estabelecendo critérios padronizados para o sistema de gestão a nível nacional e contemplando definições específicas para o transporte, para operadores logísticos, metas para reciclagem e coleta, os padrões para a rotulagem ambiental, os limites para o uso de mercúrio e o controle da destinação dos materiais obtidos da reciclagem. Devem ser estabelecidos requisitos para a disposição dos materiais, visando favorecer as destinações que são ambientalmente mais adequadas.

Em relação ao fabricante/importador, em conjunto com o governo deve-se definir uma metodologia para o cálculo de resíduos de lâmpadas fluorescentes. Além disso, torna-se importante a elaboração de um manual de descarte de resíduos. De

acordo com Valle *et al.* (2009), este manual deve estar associado a conveniência do sistema para o consumidor e a um serviço de suporte. A realização de campanhas de *marketing* ajuda a promover o envolvimento e conscientização do consumidor.

Torna-se fundamental a criação de uma agência de registro e com poder fiscalizador vinculada ao governo e responsável pelo registro e controle das quantidades produzidas, importadas, coletadas e recicladas. A seta 2 indica a troca de informações dos órgãos regulamentadores e desta agência de registro, como a emissão de relatórios relacionados a coleta e reciclagem de LF. A seta 3 aponta a obrigatoriedade de registro dos fabricantes e importadores na agência.

O estabelecimento de uma entidade como a GGL da Alemanha, para fornecer a garantia de financiamento do sistema, no evento do fechamento de um fabricante ou importador, em relação aos produtos que já estão no mercado. O critério para o volume financeiro fornecido seria diretamente proporcional ao volume de produção/importação. A seta 4 indica o fluxo de informação do fabricante/importador para a associação de garantia de financiamento, o que significa se tornar membro desta associação.

Para o financiamento do sistema, o ideal seria que todos os parceiros (fabricantes, importadores, distribuidores e consumidores finais) contribuíssem com os custos da sistemática necessária para a implantação da logística reversa e da reciclagem de lâmpadas fluorescentes, porém é provável que o sistema de cobrança fique similar ao da Alemanha e ao apresentado na FIGURA 6 (ABILUX). Os valores das contribuições e do aumento do preço das lâmpadas são utilizados para financiar o sistema, como na Alemanha desde a coleta, transporte, reciclagem e campanhas de educação ambiental. A seta 5 indica o fluxo financeiro do fabricante/importador para a associação de garantia de financiamento. A seta 6 está relacionada ao fluxo financeiro da associação de garantia de financiamento para a associação responsável pela gestão da logística reversa.

A seta 7 indica o fluxo de informações entre a associação responsável pela logística reversa e a agência de registro e fiscalização. As informações oriundas da associação são relacionadas a quantidades coletadas e recicladas. No caso da agência de registro e fiscalização, relatórios de auditorias realizados nas associações e instruções para as entidades.

A seta 8 indica a troca de informações entre fabricante/importador e a associação responsável pela logística reversa e a seta 9 o fluxo de informações

entre esta associação e os recicladores, visando principalmente o repasse das demandas de reciclagem.

A seta 10 aponta o fluxo de informações ao consumidor oriundo da associação responsável pela gestão da logística reversa de LF. Estas informações estão relacionadas aos riscos do mercúrio, procedimento no caso de quebras, a forma de descarte adequado e localização dos pontos de coleta.

Em relação ao sistema de depósito/reembolso, a Alemanha, possui sistemática que funciona muito bem para embalagens, através do sistema de *Pfand* (depósito/reembolso), entretanto o sistema ainda não foi desenvolvido para outros tipos de materiais, como por exemplo, para as lâmpadas fluorescentes usadas. Através deste sistema, os índices de reciclagem são melhorados e o consumidor é incentivado a retornar os produtos usados, pois recebe o que pagou pelo depósito na compra do produto e pode usar o reembolso em outros lugares que não sejam os mesmos locais da compra. Desta forma, este sistema poderia ser desenvolvido para aumentar os índices de reciclagem das lâmpadas fluorescentes tanto no Brasil como na Alemanha, gerando um incentivo para o consumidor retornar estes produtos pós-consumo.

Uma taxa também poderia ser cobrada das companhias de geração de energia elétrica por cada lâmpada adquirida, devido à economia de energia proporcionada. Estas taxas seriam utilizadas para apoiar o financiamento dos sistemas de reembolso/depósito, visando incentivar o retorno de lâmpadas usadas pelos consumidores aos pontos de coleta em distribuidores e revendedores. Essa sistemática promoveria a educação dos consumidores na reciclagem de suas lâmpadas contendo mercúrio (SILVEIRA; CHANG, 2010).

Os pontos de coleta devem ser definidos conforme a densidade populacional e geração de resíduos de cada região, sendo que a informação sobre a localização destes pontos deve estar acessível à população, através de *website* da associação, nos locais de aquisição das lâmpadas e outros locais estratégicos, como em escolas.

É essencial para favorecer a contribuição dos consumidores domésticos a disponibilização de coletores padrões em grandes condomínios. Além disso, pontos de coleta de LF usadas em grandes instituições de ensino e em hospitais. A seta 11 indica a entrega das LF pós-consumo dos consumidores finais nos pontos de coleta.

A seta 12 indica a demanda de coleta informada por sistemas de informação (*software*) à associação responsável pela logística reversa. A seta 13 representa o repasse desta informação e geração de ordem de serviço para os transportadores.

Segundo Razzolini Filho e Berté (2009), critérios do sistema de logística reversa como a estruturação do sistema de coleta, tipo de transporte a ser adotado para retornar o produto após o uso e a determinação da destinação final, podem ser realizadas anteriormente a operacionalização das atividades, através do uso da técnica de ACV.

Em relação ao transporte no Brasil, deve-se levar em consideração o tamanho do país, a densidade demográfica e o tipo de resíduo a ser transportado. O Brasil é um país de grandes dimensões e com densidade demográfica muito menor do que da Alemanha, ocasionando maior dispersão dos pontos de coleta e maiores custos, dependendo da estratégia logística adotada. Faz parte da realidade brasileira a existência de catadores vinculados ou não a cooperativas de materiais recicláveis. Os catadores destas cooperativas podem ser integrados ao sistema de coleta de LF pós-consumo, visando elevar o índice de entrega aos recicladores e redução de custos. Para isto acontecer é fundamental o repasse da informação sobre os riscos do mercúrio em LF e a importância do descarte adequado, bem como o fornecimento de coletores padrões para a execução da coleta e transporte até as cooperativas.

Os coletores utilizados para coleta e transporte devem ser padronizados, visando reduzir quebras e possibilitar o transporte da maior quantidade possível de lâmpadas. O uso de indicadores de gestão para o controle das quebras é indicado para avaliar a eficiência das operações logísticas.

Vale a pena destacar que um valor superior a 70% das rodovias encontram-se em condições inadequadas (VILAÇA, 2010). Além disso, as lâmpadas fluorescentes usadas são materiais frágeis, volumosos e contém mercúrio. Sendo assim, segundo Raposo (2001) deve fazer parte do programa de reciclagem, os cuidados relacionados ao transporte para garantir que as lâmpadas cheguem intactas aos recicladores.

A documentação, a sinalização e o código da ONU adotado para o transporte ainda não é uniforme. O número da ONU para o transporte de LF mais adotado no Brasil é o 3077 ("substância que apresenta risco para o meio ambiente, sólidas"), entretanto também adota-se o 3082 ("substância que apresenta risco para

o meio ambiente, líquidas”), pois não há código específico para resíduos de LF, somente para mercúrio metálico, considerado como um produto perigoso. Esta divergência de uso dos códigos pode ocorrer, pois o mercúrio pode se apresentar nos estados líquido, gasoso e sólido, e no caso de ocorrer um acidente durante o transporte, pode haver a contaminação da água, do solo e do ar. Além disso, os coletores utilizados para o acondicionamento e para transporte variam muito, o que pode impactar nos custos e elevar o índice de quebras durante as operações logísticas, oferecendo riscos ao meio ambiente. Logo, torna-se importante o esclarecimento das legislações envolvidas e a padronização dos requisitos, bem como os códigos obrigatórios e coletores padrões para a realização de tal atividade.

Talvez o código mais adequado para o transporte de lâmpadas usadas no Brasil seja o F044 (“lâmpada com vapor de mercúrio após o uso”) da NBR 10.004, a qual classifica o resíduo de lâmpada como tóxico.

De acordo com a ANTT 420, é previsto que as unidades de transporte que não apresentarem valores superiores à carga limitada, têm algumas exigências consideradas dispensáveis, como o rótulo de risco no veículo e a ficha de emergência. No caso do código da ONU 3077, a massa de produto perigoso é de 1.000 kg, o que pode ser equivalente a aproximadamente 100 milhões de lâmpadas fluorescentes. Seria praticamente impossível atingir este valor em uma carga. No entanto, algumas recicladoras de lâmpadas afirmam que é complicado adotar a simplificação da documentação, pois durante as fiscalizações rodoviárias, podem ser geradas multas, provenientes de má interpretação desta simplificação. Entretanto, o transporte poderia seguir um modelo simplificado de documentação, assim como a Alemanha, visando a otimização das atividades, mas antes disso, deve ser levada em consideração as diferenças culturais entre os países relacionadas ao cumprimento de procedimentos, e realizada uma avaliação de toda a documentação utilizada nos Estados do Brasil, visando a adoção das melhores práticas, a fim de prevenir os impactos ambientais negativos oriundos desta atividade.

A divisão do país em regiões logísticas com o uso de operadores logísticos especializados permite a redução de custos. Torna-se essencial devido às dimensões do país e a complexidade das atividades, a utilização de um *software* para o gerenciamento das operações logísticas, favorecendo ao melhor controle das demandas. A necessidade de serviços logísticos especializados no transporte de resíduos perigosos tende a aumentar, após a implantação da logística reversa

prevista PNRS, sendo considerado essencial o desenvolvimento contínuo desta parte da cadeia do fluxo reverso, incluindo os elementos para a sua capacitação.

A seta 14 indica o fluxo físico do transporte das LF usadas dos pontos de coleta para locais de consolidação de carga e a seta 15 a entrega diretamente aos recicladores. A seta 16 indica os materiais oriundos da reciclagem de LF que retornam aos fabricantes e a seta 17 indica a destinação para outras cadeias produtivas.

Além das unidades de tratamento de lâmpadas estacionárias, podem ser desenvolvidas unidades de tratamento móveis, tendo como pré-requisito a destinação dos materiais para outros ciclos produtivos. Estes tipos de unidades são estratégicas, devido ao tamanho do Brasil.

Alguns passos são recomendados no caso do gerenciamento de resíduos de lâmpadas fluorescentes: o conhecimento sobre as legislações, a seleção de um reciclador que esteja adequado quanto às licenças cabíveis e que estabeleça um processo de manuseio a fim de evitar quebras de lâmpadas, o fornecimento de registros sobre a destinação final das lâmpadas e realização de programas de educação ambiental (EPA, 2009).

A atividade de reciclagem deve seguir os padrões estabelecidos por lei e possuir certificação com base nos requisitos desta lei, como na Alemanha, visando garantir a operação desta atividade com os menores impactos ambientais possíveis e possibilitando a avaliação da destinação dos materiais e a uniformização das atividades e controles realizados pelas recicladoras de lâmpadas do país. Vale a pena ressaltar que a produção e comercialização do mercúrio devem seguir os padrões estabelecidos pela portaria nº 32 do IBAMA, que prevê o informe das quantidades obtidas e dos destinadores autorizados e cadastrados no IBAMA. Desta forma, as recicladoras de lâmpadas devem informar ao IBAMA o destino do mercúrio obtido, a fim de melhorar o controle sobre este metal pesado no país.

As setas 18, 19 e 20 indicam o repasse das contribuições para o pagamento dos pontos de coleta e das atividades de coleta, transporte e reciclagem.

4.5 ANÁLISE DA GERAÇÃO DE MATERIAIS COM POTENCIAL DE RECICLAGEM NO BRASIL E NA ALEMANHA

Visando obter o desperdício de materiais de resíduos de lâmpadas fluorescentes no Brasil, considerou-se a maior geração como sendo de lâmpadas fluorescentes do tipo compacta. Para as estimativas, foi adotada a geração de resíduos estimada para 2012, ou seja, 260 milhões de unidades de LF. Baseando-se na composição das LFC, o tipo de lâmpadas de descarga de gás mais consumido no mercado brasileiro e adotando o índice de reciclagem de 6% (MRT System, 2007 *apud* Sanches, 2008), obteve-se a TABELA 22.

TABELA 22 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LF NO BRASIL

COMPONENTES PRINCIPAIS LFC BARTHEL (2012)	GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM t/ano	DESTINAÇÃO ESTIMADA PARA RECICLADORAS (6%) EM t/ano	DESPERDÍCIO DE MATERIAIS ESTIMADO EM t/ano	DESPERDÍCIO DE MATERIAIS ESTIMADO EM R\$/ano E EM EUROS/ano	
				R\$/ano	EUROS/ano
Vidro - 88%	45.760	2.746	43.014	3.742.253	8.607.181
Metais - 5%	2.600	156	2.444	955.604	2.197.889
Plástico (reator com componentes eletrônicos) - 4%	2.080	125	1.955	-	-
Pó de fósforo - 3%	1.560	94	1.466	25.502.609	58.656.000
Mercúrio - 0,005%	2,60	0,16	2,44	239.512	550.878
Total	52.003	3.120	48.882	30.439.977	70.011.948

Para os cálculos, adotou-se a composição de BARTHEL (2012) e os valores monetários considerados para o cálculo do desperdício do vidro e dos metais foram fornecidos pelas recicladoras da Alemanha. No caso do mercúrio, o valor adotado foi de Sanches (2008). Para o plástico os desperdícios não foram calculados, pois os valores de comercialização não foram fornecidos pelas empresas visitadas.

Os valores monetários adotados para o pó de fósforo obtido da reciclagem de lâmpadas fluorescentes são baseados nos preços dos elementos terras raras, conforme a composição de Hirajima *et al.* (2005a), pois o seu preço no mercado mundial ainda está em formação. O valor calculado para o preço do pó de fósforo ficou em torno de 40 Euros/kg, tendo variações devido às oscilações de preço do mercado e variação na composição do pó fosfórico empregado. Além disso, o preço deste material oriundo da reciclagem das lâmpadas ainda está em definição.

Na Alemanha, considerou-se a geração de resíduos, de acordo com os dados de comercialização de lâmpadas de 2008 do ministério do meio ambiente, equivalente a aproximadamente 160 milhões de unidades de lâmpadas fluorescentes usadas. A partir das vendas (BMU, 2008), adotando o índice de reciclagem para lâmpadas fluorescentes de 30% e baseando-se na composição de Rabah (2008) para as lâmpadas fluorescentes tubulares, pois são as mais consumidas (ZVEI, 2008), obteve-se a TABELA 23.

TABELA 23 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LF NA ALEMANHA

COMPONENTES PRINCIPAIS DA LF TUBULAR	GERAÇÃO DE RESÍDUOS t/ano	DESTINAÇÃO ESTIMADA PARA RECICLADORAS (30%) t/ano	DESPERDÍCIO ESTIMADO DE MATERIAIS t/ano	DESPERDÍCIO DE MATERIAIS ESTIMADO EM R\$ E EUROS/ANO	
				R\$/ano	EUR/ano
Vidro - 94,7%	30.304	9.091	21.213	645.607	1.484.896
Metais - 2,1%	672	202	470	20.452	47.040
Pó de fósforo - 2%	640	192	448	7.791.304	17.920.000
Mercúrio - 0,005%	1,60	0,48	1,12	109.760	252.448
Total	31.618	9.485	22.132	8.567.123	19.704.384

Pode-se observar que tanto Brasil como Alemanha, possuem grandes oportunidades de melhoria em relação aos materiais que não retornam para novos ciclos de negócios, ou seja, que possuem uma destinação não adequada. Uma quantidade considerável de vidro de 43.014 t/ano no Brasil e de 21.213 t/ano na Alemanha, tem destinação desconhecida, com potencial impacto ambiental negativo, bem como desperdício monetário de aproximadamente R\$30 milhões/ano no caso do Brasil.

De acordo com os dados da agência ambiental alemã, parte dos materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes são destinados para aterros de resíduos perigosos. A quantidade de mercúrio liberado anualmente para o meio ambiente ainda é considerável, sendo estimados 2.440 kg para o Brasil e 1.120 kg para a Alemanha.

O pó fluorescente é um dos materiais obtidos da reciclagem de lâmpadas fluorescentes que apresenta grande potencial de valorização, devido à presença dos elementos terras raras. As tecnologias para recuperação já existem, mas são pouco utilizadas. Entretanto, há forte tendência para modificações no mercado, devido à escassez prevista para estes elementos.

Európio e ítrio são elementos utilizados em lâmpadas fluorescentes, devido as suas propriedades de luminescência. São elementos raros e valiosos que tem aplicações em *laser* e reatores nucleares. Podem ser recuperados de resíduos de lâmpadas fluorescentes usadas, utilizando lixiviação ácida seguida de extração de solvente, recuperação, separação destes elementos e redução térmica (RABAH, 2008). É possível também recuperar ítrio através da lixiviação ácida com ácido sulfúrico, 4 N, a 90 °C e com a adição de ácido oxálico, obtendo uma recuperação em torno de 85% (MICHELIS *et al.*, 2011).

De acordo com Hirajima *et al.* (2005a) através de flotação é possível recuperar elementos terras raras de resíduos de lâmpadas fluorescentes. Por exemplo, através do pré-tratamento com acetato de amônio dodecil (DAA) em pH<5 é possível recuperar metais terras raras, com eficiência entre 70 a 90%. Outro estudo realizado por Hirajima *et al.* (2005b) demonstrou que a centrifugação em meio denso, com pré-tratamento de oleato de sódio, também possibilita a recuperação de mais de 97% de elementos terras raras do pó fosfórico, em condições pré-definidas, sendo este um processo viável.

Segundo Schüller *et al.* (2011), a reciclagem de elementos terras raras na Europa é realizada por poucas empresas, mas a tendência é de aumentar os índices de reciclagem, devido a demanda dos elementos, escassez e aumento dos seus preços. Outro fator que contribui para o aumento significativo dos preços é o monopólio da produção pela China (PRESIDENTE, 2011). O elemento térbio, por exemplo, teve aumento em 2 anos de 600 \$/kg para 4.000 \$/kg (RHODIA, 2011).

4.5.1 Potencial de recuperação dos elementos terras raras de lâmpadas fluorescentes

A grande oportunidade observada para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes é a recuperação dos elementos terras raras do pó fosfórico. Ambos os países importam grandes quantidades destes elementos. No caso da Alemanha, 1.840 t/ano (EUROSTAT, 2010 *apud* SCHÜLER *et al.*, 2011).

De acordo com Osram GmbH (2011), são gerados da reciclagem de LF na Alemanha, por ano, aproximadamente 250 a 300 t de resíduo de pó fosfórico, os

quais são colocados em depósitos subterrâneos. O valor estimado neste estudo para o pó fosfórico obtido através da reciclagem, para 2012, ficou próximo, estando em torno de 192 t/ano, conforme a TABELA 23.

De acordo com os valores apresentados nas TABELAS 22 e 23, o potencial calculado para a recuperação de elementos terras raras do pó fosfórico de LF, foi de 156 t/ano para o Brasil e 64 t/ano para a Alemanha, considerando em média 10% da composição deste pó, correspondente a estes elementos. Estas quantidades poderiam ajudar a suprir a demanda destes países quanto ao consumo de terras raras.

A empresa Rhodia realiza a recuperação de elementos terras raras na Europa, detendo 20% do mercado (RHODIA, 2011). A Rhodia possui uma patente de recuperação destes elementos de uma mistura de halofosfatos com terras raras em fase sólida, utilizando ácidos e bases no processo de separação dos sais de terras raras (RHODIA OPERATIONS, 2010).

Pelo fato de térbio e európio serem considerados como elementos terras raras onerosos e escassos, as lâmpadas fluorescentes podem ser ditas como fontes para estes elementos. A empresa Osram possui uma patente relacionada à recuperação de térbio, ítrio e európio de lâmpadas fluorescentes usadas, a qual tem como etapas do processo: tratamento mecânico, separação do halofosfato, extração e digestão ácida e precipitação. Através deste método torna-se possível a obtenção de óxidos de terras raras puros e considera-se o método desenvolvido como economicamente viável e ambientalmente adequado. Além disso, a reciclagem do pó fosfórico das lâmpadas fluorescentes apresenta ganhos ambientais relacionados principalmente a evitar extração de nova matéria-prima (OSRAM GMBH, 2011).

Outras patentes relacionadas à recuperação de elementos terras raras de material fluorescente, foram depositadas pela General Electric. A primeira, sobre a reciclagem da camada de revestimento interno da lâmpada, através de sopro para remoção do pó fosfórico e seguida de tratamentos químicos (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2001). A mais recente e aprimorada, contempla as etapas da queima do fósforo em meio alcalino, gerando a decomposição do fósforo em uma mistura de óxidos, extração do resíduo da mistura e tratamento deste resíduo visando obter uma solução e por final a separação dos elementos terras raras (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2011).

Sendo assim, as patentes relacionadas à recuperação já estão publicadas, permitindo acesso à tecnologia desenvolvida e, a obtenção de ganhos ambientais e sócio-econômicos.

4.5.2 Destinação para o mercúrio obtido da reciclagem de lâmpadas fluorescentes

A maior quantidade de lâmpadas fluorescentes do Brasil é oriunda da China. Partindo do princípio do poluidor-pagador, os fabricantes deste país e/ou importadores no Brasil deveriam também ser responsáveis pela geração de resíduos. Entretanto, para transporte de resíduos perigosos deve ser levada em consideração a convenção da Basiléia (BRASIL, 1993). Desta forma, é indicado que os resíduos perigosos sejam tratados, preferencialmente, internamente. O mercúrio obtido da reciclagem de lâmpadas fluorescentes, também deveria retornar para os fabricantes.

A realização da reciclagem de lâmpadas fluorescentes oriunda dos resíduos domésticos, não possui rentabilidade em relação à recuperação de mercúrio, devido às quantidades de mercúrio, relativamente baixas (HU; CHENG, 2012). Além disso, segundo Sanches (2008) o valor do mercúrio recuperado da reciclagem é praticamente o mesmo do produto novo disponível no mercado. O mercúrio recuperado, oriundo da reciclagem, deveria ser menos oneroso, do que o mercúrio novo, visando incentivar o reuso e evitar a sua extração da natureza. De acordo com as recicladoras visitadas, o mercúrio obtido precisa ser purificado para ser reutilizado em outros ciclos, desta forma a realização deste processo é dificultada pela viabilidade da operação. Sendo assim, uma das formas de agregar valor, seria reduzir alguns impostos incidentes sobre a atividade como o IPI da reciclagem e incentivar a reutilização do mercúrio em outros processos, visando evitar a sua disposição inadequada.

A quantidade potencial de mercúrio que pode ser recuperado, caso tenhamos 100% de reciclagem das lâmpadas fluorescentes no Brasil, seria de aproximadamente 2,6 t/ano, com base na geração de resíduos de lâmpadas fluorescentes no Brasil. Fazendo uma estimativa, através da produção de lâmpadas, temos que o uso de mercúrio pelo único fabricante de lâmpadas fluorescentes do

Brasil é de aproximadamente 0,3 t/ano. Sendo assim, torna-se necessário avaliar outros mercados que possam absorver o mercúrio recuperado da reciclagem de lâmpadas, além do próprio fabricante. Alguns negócios utilizam o mercúrio para a obtenção do produto e outros incorporam o mercúrio no produto final.

Existem vários processos que utilizam mercúrio e que poderiam absorver o mercúrio recuperado da reciclagem de lâmpadas no Brasil. Entretanto, na maior parte dos casos, os impactos ambientais gerados não justificam o uso do mercúrio, devido à existência de tecnologia limpas que tendem a substituir os processos atuais. De acordo com a UNEP (2008), os processos que empregam mercúrio na sua produção são mineração de ouro, amálgamas dentárias e fundição de metais como de ferro e de aço. Todos esses processos geram emissões de mercúrio para a atmosfera e alguns geram resíduos sólidos e líquidos que necessitam de tratamento posterior e que causam impactos ambientais significativos. Além destes, em indústrias de cloro-álcali, o mercúrio também é empregado, mas neste caso, nos últimos anos a quantidade de fábricas que estão optando por processos livres de uso de mercúrio vem aumentando. De acordo com Michelazzo (2003), o mercúrio também é empregado na forma de compostos, em tintas, baterias, reagentes laboratoriais e em catalisadores industriais.

A portaria do IBAMA nº 32 deve ser considerada para controlar a produção e comercialização de mercúrio metálico no Brasil, estando relacionada ao cadastramento de atividades que realizam a obtenção de mercúrio metálico (BRASIL, 1995). Então, esta portaria é aplicável ao processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes que realizam a recuperação de mercúrio, visando o controle produtivo deste metal pesado. De acordo com IBAMA (2011), a maior recicladora do Brasil, registrou quantidade superior a 2,36 t de mercúrio líquido, no período de 6 anos, ou seja, equivalente a 0,39 t/ano, o que poderia estar suprimindo a demanda do fabricante de lâmpadas do Brasil. Entretanto, algumas empresas que realizam a recuperação de destinação de mercúrio não realizam o informe das quantidades, desfavorecendo ao controle e ao atendimento da legislação em vigor. Além disso, o processo de purificação do mercúrio deixa este metal obtido da reciclagem com baixa competitividade mercadológica em relação ao mercúrio novo importado.

Segundo IBAMA (2011), a quantidade de mercúrio metálico importada nos primeiros sete meses do ano de 2011, pelo setor de cloro-álcali e pelo setor que faz o uso em amálgamas odontológicas foi de 6 t e 5,5 t de mercúrio metálico,

respectivamente. Faltam dados de alguns setores sobre o uso do mercúrio, para a obtenção de um diagnóstico completo.

De acordo com Mukherjee *et al.* (2004), a Alemanha possui regulamentações restritivas quanto ao uso de mercúrio em termômetros e amálgamas. Segundo ELC (2011b) o mercúrio recuperado da reciclagem de lâmpadas na Europa tem a sua destinação para os fabricantes e para o beneficiamento de mercúrio. No caso do Brasil, não há esta opção, pois o país não possui minas de cinábrio e em relação aos termômetros medidores de temperatura que contém mercúrio, o seu uso foi vetado para estes dispositivos de medição, através da portaria do INMETRO número 441 de 2011 (INMETRO, 2011).

Infelizmente, algumas vacinas para crianças contém mercúrio. Segundo Dórea *et al.* (2011), foi desenvolvido um método para quantificar o etil-mercúrio presente em cabelos de crianças em amamentação, devido ao uso de vacinas contendo timerosal, conservante que contém mercúrio, ainda utilizado em muitos países, inclusive no Brasil. O mercúrio é empregado neste caso, por motivos econômicos, sendo assim não justifica encaminhar o mercúrio recuperado da reciclagem de lâmpadas para este fim.

Mercúrio ainda é utilizado em muitos dispositivos de medição na área da saúde. Segundo Pickering *et al.* (2005), dispositivos de medição para pressão, esfigmomanômetros, ainda justificam o uso, pois outros equipamentos disponíveis necessitam de frequente calibração e ainda não atendem corretamente as eventuais emergências. O mercúrio também pode ser utilizado em complexos que catalisam reações químicas para obtenção de alcalóides de uso farmacêutico e biológico (HUANG *et al.*, 2011). Além disso, o uso de iodeto de mercúrio também é empregado na preparação de polímeros como policrotonato (UTE *et al.*, 2003).

A diretiva 37 da União Européia, sobre carros em final de vida útil, permite o uso de mercúrio somente em lâmpadas fluorescentes para painéis e de descarga para faróis (UNIÃO EUROPEIA, 2011a). Sendo assim, para a indústria automotiva, o uso de mercúrio encontra-se restritivo.

Através dos usos analisados, se obteve um resumo no QUADRO 9, o qual permitiu avaliar alguns dos usos atuais de mercúrio e as possíveis destinações para o mercúrio recuperado da reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas.

USOS ATUAIS DE MERCÚRIO	POSSIBILIDADE DE REUSO DO MERCÚRIO			JUSTIFICATIVA
	SIM	NÃO	TALVEZ	
Fabricação nacional de lâmpadas fluorescentes	x			O reuso do mercúrio, deveria ser obrigatório, devido ao princípio do poluidor pagador.
Mineração de ouro		x		Existem tecnologias limpas, para extração de ouro sem a utilização de mercúrio (AZEVEDO, 2003).
Amálgamas dentárias		x		Existem substitutos para a amálgama, como a resina, a qual não possui mercúrio (AZEVEDO, 2003).
Termômetros		x		Uso vetado pela portaria do INMETRO, número 441 de 23 de novembro de 2011 (INMETRO, 2011).
Vacinas para crianças		x		Uso injustificável, pois as vacinas que usam conservantes contendo mercúrio podem gerar contaminação em crianças e mulheres grávidas, apenas por motivos econômicos (DÓREA <i>et al.</i> , 2011).
Fabricação de dispositivos para a indústria automobilística		x		Tendência de eliminação. A diretiva 37 da União Européia, somente permite o uso de mercúrio em lâmpadas de descarga (UNIÃO EUROPEIA, 2011a).
Indústria de cloro-álcali		x		Já existem novas tecnologias que não empregam o uso de mercúrio (UNEP, 2008). Entretanto, este setor apresenta uso expressivo de mercúrio no processo (IBAMA, 2011)
Baterias			x	O uso reduziu significativamente. Reuso do mercúrio somente dentro dos limites máximos permitidos em legislação específica (BRASIL, 2008b).
Aferição de instrumentos de medição e uso em dispositivos medidores de pressão			x	Somente até o desenvolvimento de tecnologias que sejam mais precisas do que os dispositivos que utilizam mercúrio, devido aos casos que necessitam de medições precisas e rápidas, como em emergências médicas (PICKERING <i>et al.</i> , 2005).
Catalisadores			x	Somente nos casos, em que existam substitutos adequados (AZEVEDO, 2003; HUANG <i>et al.</i> , 2011; UTE <i>et al.</i> , 2003).
Niquelação de ferro			x	Somente, para as empresas que possuem controle adequado de emissões e gestão adequada dos resíduos oriundos do processo (AZEVEDO, 2003).
Exportação			x	Nos casos em que cumprir os requisitos legais, incluindo a convenção da Basiléia (BRASIL, 1993)
Pigmentos e corantes			x	Alguns pigmentos e corantes ainda não possuem substitutos que não sejam de origem mercurial (AZEVEDO, 2003). Somente, para as empresas que possuem controle adequado de emissões e gestão adequada dos resíduos.
Reagentes laboratoriais e institutos de pesquisa			x	Somente em quantidades limitadas e com o descarte adequado de resíduos (AZEVEDO, 2003).

QUADRO 9 - AVALIAÇÃO DA DESTINAÇÃO DE MERCÚRIO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES USADAS

4.5.2.1 Análises físico-químicas do teor de mercúrio

Realizaram-se análises para a determinação de mercúrio em filtro de carvão ativado utilizado em equipamento que promove a descontaminação em lâmpadas fluorescentes e em amostras de lâmpadas fluorescentes compactas novas e usadas.

4.5.2.1.1 Lâmpadas fluorescentes compactas

Realizou-se análises do conteúdo de mercúrio, em amostras de lâmpadas fluorescentes compactas novas e usadas para o formato U de 15 W. Estas lâmpadas foram escolhidas, partindo-se do princípio que as lâmpadas compactas são os tipos de lâmpadas contendo mercúrio, mais consumidas no Brasil. Além disso, a modalidade de até 15 W, além de mais barata para aquisição do público, de acordo com pesquisa da Eletrobras (2005) sobre hábitos de consumo domésticos, corresponde a uma das categorias mais representativas entre as lâmpadas fluorescentes adotadas pelos consumidores brasileiros.

Os resultados obtidos das análises de determinação de mercúrio são dados pela TABELA 24.

TABELA 24 - RESULTADOS DE ANÁLISES DE MERCÚRIO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS NOVAS E USADAS

LÂMPADA DE 15 W	RESULTADOS mg Hg/lâmpada
Lâmpada X nova	4,46
Lâmpada Y nova	1,83
Lâmpada Z nova	3,51
Lâmpada X usada	1,78
Lâmpada Y usada	1,92
Lâmpada Z usada	1,85

Verificou-se que os valores obtidos para as quantidades de mercúrio ficaram entre 1,83 mg de Hg a 4,46 mg de Hg. No caso de lâmpadas fluorescentes compactas do mesmo tipo (15 W, modelo U) analisadas por Santos *et al.* (2010), os valores encontrados de mercúrio chegaram a 21 mg de Hg, sendo mais de 15 lâmpadas fluorescentes compactas de diferentes tipos analisadas. A amostragem realizada neste estudo foi de três lâmpadas novas e três usadas, desta forma para resultados mais precisos seriam necessários um número maior de amostras.

Os resultados de teor de mercúrio obtidos, para lâmpadas fluorescentes compactas usadas, também foram comparados com os valores obtidos por Santos *et al.* (2010) coletadas na mesma cidade (Curitiba, Paraná), do mesmo modelo (15 W, tipo U) e analisadas através do mesmo método. Os valores encontrados por Santos *et al.* (2010) foram de 2,5 e 4,1 mg de Hg por lâmpada. Como mostra a

TABELA 24, os resultados obtidos neste estudo ficaram entre 1,78 a 1,92 mg de Hg, ou seja, em relação ao valor médio, 44% inferiores, quando comparados com os valores obtidos por Santos *et al.* (2010) . Este fato já pode ser reflexo de uma redução de uso de mercúrio na fabricação de lâmpadas fluorescentes.

No caso da lâmpada X usada, a quantidade de mercúrio diminuiu significativamente, em relação à lâmpada nova, podendo estar relacionada com a liberação do mercúrio no estado de vapor durante o uso (Johnson *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2010).

O valor de mercúrio obtido para a lâmpada Y usada foi aproximadamente 5% maior do que o teor de mercúrio na lâmpada Y nova. Este fato pode ter ocorrido pelos seguintes motivos: incerteza quanto ao tempo de uso das lâmpadas usadas coletadas e pelo erro experimental relacionado à análise laboratorial, sendo a tolerância aceitável para este método, em torno de 13 a 20%, devido à mobilidade do mercúrio e a variação do conteúdo nas lâmpadas (Santos *et al.*, 2010).

Verificou-se através dos resultados obtidos para o teor de mercúrio que a quantidade é variável para o mesmo modelo, dependendo do fabricante. Desta forma, torna-se importante a adoção de padrão estabelecendo limites de uso para este metal pesado em lâmpadas, como os valores fixados na legislação da União Européia, para a restrição do uso de substâncias perigosas. Se comparar os valores de mercúrio obtidos para as lâmpadas analisadas, somente a lâmpada Y estaria dentro dos limites estabelecidos pela legislação alemã para este modelo, de acordo com a utilização, sendo o valor máximo de 3,5 mg de Hg por lâmpada.

Apesar dos resultados das lâmpadas amostradas neste estudo apresentarem quantidades de mercúrio que não ultrapassaram 5 mg de Hg, deve ser levada em consideração a quantidade de lâmpadas produzidas e importadas no Brasil e o parque brasileiro de lâmpadas. Caso milhões de lâmpadas sejam quebradas, a massa cumulativa de mercúrio pode ser significativa (Hu e Cheng, 2012). Desta forma, os impactos sócio-ambientais, são elevados. Além disso, é na etapa de descarte que ocorre o maior risco de contaminação e, segundo Li e Jin (2011), após a quebra de uma lâmpada fluorescente, o vapor de mercúrio pode continuar a ser liberado, por semanas. Por esse motivo, é importante adotar cuidados no manuseio, ter o conhecimento sobre quais são os procedimentos adotados no caso de quebra, intensificar a educação ambiental e promover a implantação adequada da logística reversa para lâmpadas fluorescentes usadas.

4.5.2.1.2 Filtro de carvão ativado

Amostra de filtro de carvão ativado utilizado para reter vapor de mercúrio, oriunda de equipamento processador de lâmpadas fluorescentes, após a saturação, foi analisada pela metodologia EAA/GVF (Espectrometria de Absorção Atômica/ Gerador de Vapor Frio) para a determinação do conteúdo de mercúrio. O ensaio de lixiviação baseou-se na NBR 10.005. Os resultados são apresentados na TABELA 25 e comparados com os limites estabelecidos pela norma NBR 10.004 e pelo regulamento de aterros da Alemanha.

TABELA 25 - ANÁLISE DE FILTRO DE CARVÃO ATIVADO DE EQUIPAMENTO PROCESSADOR DE LÂMPADAS

AMOSTRA	ANÁLISE	RESULTADO	LIMITE NBR 10.004	REGULAMENTO DE ATERROS DA ALEMANHA*
Amostra bruta	Determinação de Hg	217,64 mg/kg	Não definido	Não definido
Lixiviado	Determinação de Hg	0,001 mg/L	0,1 mg/L	0,2 mg/L

* *Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV).*

Através dos resultados obtidos, este filtro analisado poderia ser encaminhado para aterro classe II no Brasil, de acordo os limites fixados na NBR 10.004. No caso do regulamento da legislação de aterros das Alemanha, o valor permitido para o lixiviado é maior, sendo de 0,2 mg/L.

A destinação dada para o filtro de carvão ativado por quase 100% das empresas recicladoras de lâmpadas visitadas no Brasil e na Alemanha, foi para aterro de resíduos perigosos e aterro classe II. Entretanto, de acordo com Mombach, Riella e Kuhnen (2008), esta destinação não é completamente adequada, devido a característica de volatilidade do mercúrio, podendo sofrer difusão através do solo e atingir a atmosfera. A destinação considerada, ambientalmente mais adequada seria a renovação do filtro de carvão ativado e a reutilização do mercúrio. No entanto, isso depende principalmente de qual material o filtro é impregnado e da viabilidade desta operação.

A avaliação dos resultados relacionados ao filtro de carvão ativado apresenta limitações, pois seriam necessárias mais amostras para a obtenção de conclusões mais precisas.

5 CONCLUSÕES

Através deste trabalho foi possível verificar que devido às políticas de banimento das lâmpadas incandescentes, a aquisição e utilização de lâmpadas fluorescentes tende a aumentar. A estruturação da logística reversa torna-se cada vez mais necessária para reverter o quadro atual de destinação das LF pós-consumo para diferentes modalidades de aterro, evitando os impactos ambientais negativos e irreversíveis ocasionados pela liberação de mercúrio ao meio ambiente.

Para isto torna-se importante a criação de um sistema estruturado de informações sobre a produção e importação de lâmpadas, bem como para o controle da geração de resíduos, a qual foi estimada em 206 milhões de LF, para 2011 e 260 milhões de LF, prevista para 2012. Além disso, é fundamental a instituição de legislação federal específica definindo os limites para o uso de mercúrio em lâmpadas e critérios da gestão dos resíduos, incluindo requisitos para o transporte.

As principais legislações do Brasil e da Alemanha referentes à destinação de resíduos de LF foram comparadas e avaliadas. O princípio da responsabilidade compartilhada estabelecido na PNRS, que prevê a obrigatoriedade de participação dos comerciantes e distribuidores, demonstra que o comprometimento destes é fundamental, mas deve ser criada a infraestrutura necessária até os recicladores para que a sistemática seja eficaz, incluindo locais adequados para o armazenamento temporário das lâmpadas fluorescentes usadas. Além disso, é importante que a frequência de coleta das LF usadas ou procedimento de recolhimento estejam definidos. Assim, o princípio da PNRS impulsiona a estruturação desta sistemática, através da logística reversa e a definição de padrões a serem adotados nos pontos de coleta.

Em relação às operações logísticas deve-se avaliar a simplificação da documentação utilizada para o transporte de LF usadas, como o sistema adotado pela associação A1 da Alemanha, visando facilitar e otimizar a realização desta atividade, porém adotando padronização e estando dentro de critérios mínimos estabelecidos por lei e necessários para a proteção do meio ambiente.

A análise de ciclo de vida (ACV) deve ser considerada no planejamento da cadeia de logística reversa pós-consumo das LF, pois auxilia nas definições da sistemática, visando reduzir os impactos ambientais.

Verificou-se neste estudo que foi realizado o levantamento atual da logística reversa e da reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas no Brasil e na Alemanha.

A Alemanha possui um sistema já estruturado e consolidado para o retorno das LF usadas. No caso do Brasil a implementação está prevista para 2012, assim por meio da logística reversa será possível elevar o índice de reciclagem existente, estimado em 6%, bem como gerar incentivos para a ampliação das recicladoras atuais e instalação de novos negócios, principalmente devido a atual capacidade instalada de processamento de LF, correspondente a 11% da demanda.

Apresentou-se neste trabalho, uma proposta de um modelo de logística reversa para LF usadas que possa ser adotado no Brasil. Esta proposta de gerenciamento de lâmpadas fluorescentes pós-consumo deve incluir a participação de todos os *stakeholders* com a formação de uma associação responsável pela gestão financeira, pela coleta, transporte e reciclagem dos resíduos das lâmpadas fluorescentes em fim de vida. Torna-se importante o monitoramento das associações através da realização periódica de auditorias.

O ideal seria que todos os parceiros (fabricantes, importadores, comerciantes, distribuidores e consumidores finais) contribuíssem com os custos da sistemática necessária para a implantação da logística reversa e da reciclagem de lâmpadas fluorescentes, porém é provável que o sistema de cobrança fique similar ao da Alemanha. Os valores das contribuições e o aumento do preço das lâmpadas são utilizados para financiar o sistema, como na Alemanha desde a coleta, transporte, reciclagem e campanhas de educação ambiental.

Com intuito de disseminar as informações ambientais ao consumidor, para contar com a participação expressiva de todos os envolvidos no retorno das LF pós-consumo, as instruções sobre os riscos do mercúrio e sobre o descarte adequado de LF, podem estar presentes em locais estratégicos, como nos pontos de coleta, em painéis explicativos nas redes de varejo, nas escolas e nas contas de energia elétrica.

A conscientização do consumidor final sobre os riscos e o descarte adequado é essencial para aumentar os índices de reciclagem. Entretanto, esta conscientização deve estar associada a um incentivo para a devolução da lâmpada após o seu uso, como através do desenvolvimento de um sistema de depósito prévio que no final gera um reembolso ao consumidor, pois mesmo com campanhas

ambientais e bons índices de conscientização da população, os índices totais de retorno podem não ser satisfatórios. Uma taxa poderia ser cobrada das companhias de geração de energia elétrica por cada lâmpada adquirida, devido à economia de energia obtida, objetivando apoiar o financiamento dos sistemas de reembolso.

O sistema de certificação das recicladoras, através de entidade externa, contratada pela recicladora, previsto na lei *ElektroG*, promove a validação do processo de reciclagem. Esta sistemática poderia ser utilizada para padronizar os controles adotados atualmente pelas recicladoras no Brasil.

As tecnologias de reciclagem de LF observadas para o Brasil foram de sopro e tratamento térmico, moagem simples e moagem via úmida com tratamento químico. Na Alemanha, verificaram-se as tecnologias de corte de terminais, *shredder*, moagem via úmida com a recuperação de mercúrio e a extração específica de produtos. Avaliando-se as tecnologias das empresas visitadas no Brasil e na Alemanha, pode-se dizer que a tecnologia de corte de terminais empregada para LF tubulares na Alemanha é similar à tecnologia de corte dos terminais/sopro e tratamento térmico utilizada no Brasil. A tecnologia de extração de componentes específicos para LFC e o método de *shredder*, somente foram verificados na Alemanha. A técnica de moagem simples, em alguns lugares chamado de papa lâmpadas, sistema móvel, foi observado somente no Brasil. O método de moagem simples ou trituração associado a recuperação térmica do mercúrio somente também foi somente verificado no Brasil.

Cada uma das tecnologias avaliadas obtêm frações com diferentes graus de pureza, desta forma ocasionando a variação da destinação dos materiais obtidos. A qualidade do material reciclado depende também das características do mercado, então a destinação dos materiais obtidos pode sofrer influência deste, como a destinação do vidro para as indústrias de cerâmica no Brasil. Em relação ao mercúrio, deve-se avaliar o estabelecimento de uma política de incentivo ao reuso, e não somente a remoção deste das LF. Desta forma, a importação deste metal pesado e os impactos ambientais são reduzidos e evita-se a extração de recursos naturais não renováveis.

O filtro de carvão ativado é fundamental para o processo de reciclagem de LF, visando evitar os escapes de mercúrio para a atmosfera, no entanto, a sua destinação para o aterro deve ser evitada.

De acordo com as possibilidades avaliadas na reciclagem de LF, verifica-se que a recuperação dos elementos terras raras do pó fluorescente é uma possibilidade eminente, devido à escassez prevista destes elementos.

A destinação dos materiais obtidos do processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes deve ser conduzida ao ciclo de fabricação de novas lâmpadas. Caso, esta alternativa não seja possível, devido às características de mercado da região, uma segunda opção deve ser a utilização em outros ciclos produtivos e como última alternativa deve ser realizada a disposição em aterro autorizado para o recebimento de resíduos perigosos.

6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar das lâmpadas de descarga de alta pressão possuir um conteúdo de mercúrio maior do que as lâmpadas fluorescentes, estas não foram consideradas no escopo deste trabalho, pois são menos consumidas no mercado brasileiro. Desta forma, após avaliação a sistemática para coleta de outros produtos contendo mercúrio, poderia seguir o mesmo formato do padrão proposto para lâmpadas fluorescentes.

Um projeto piloto pode ser conduzido para o desenvolvimento de um sistema de depósito/reembolso (*Pfand*) para as lâmpadas fluorescentes usadas.

Avaliação do desenvolvimento de recicladoras com a tecnologia de recuperação de elementos terras raras deve ser conduzida para obter mais detalhes sobre a viabilidade desta atividade no Brasil.

A realização de um diagnóstico para obter o mapeamento sobre a utilização do mercúrio e sua quantificação em todos os setores deve ser conduzido, visando o controle efetivo do emprego do mercúrio no país, priorização do reuso de mercúrio oriundo de processos de reciclagem e avaliação dos usos, como por exemplo, banir o uso em vacinas para crianças.

Assim como na Alemanha, deve-se avaliar a inserção do monitoramento de mercúrio em legislação que fixa parâmetros de avaliação da qualidade do ar externo.

Podem-se realizar outros estudos, visando obter mais dados sobre a reutilização de lâmpadas fluorescentes usadas em coletores de energia solar. Sugere-se realizar a descontaminação das lâmpadas em equipamento de reciclagem que utiliza o corte dos terminais e sopro do pó fluorescente em ambiente fechado e com o uso de filtro de carvão ativado.

Realizar o levantamento da destinação de materiais obtidos do processo de descontaminação de lâmpadas fluorescentes localizado em aterros classe I.

Realizar um levantamento sobre os distribuidores e comerciantes que já disponibilizam pontos de coleta de lâmpadas fluorescentes usadas no Brasil.

Estudo de custo-benefício, associado a avaliação dos impactos ambientais para o tipo de coletor padrão a ser adotado na coleta e transporte de lâmpadas fluorescentes usadas.

REFERÊNCIAS

ABETRE. Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. **Perfil do Setor de Tratamento de Resíduos, 2011.** Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/biblioteca/publicacoes/publicacoes-abetre/perfil-do-setor-de-tratamento-de-residuos>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

ABILUMI. Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação. **Eficiência Energética, 2007.** Disponível em: <<http://www.abilumi.org.br/eficienciaenergetica.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2011.

ABILUX. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **Reunião do Grupo de Trabalho sobre Lâmpadas Mercuriais do CONAMA. Descarte de Lâmpadas contendo Mercúrio, ABILUX, 2008.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/ApresentacaoCONAMAOut2008Final.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.

ABILUX. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **4ª Reunião do Grupo de Trabalho sobre Disposição final para Resíduos de Lâmpadas Mercuriais. CONAMA. Brasília, DF, janeiro, 2010.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/Apres_ABILUX_27jan2010.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2011.

ABILUX. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Brasil inicia processo para a instalação da logística reversa. Disponível em: <<http://www.Abilux.Noticias\Abilux2012.htm>>. Acesso em: 02 fev. 2012.

ABIVIDRO. Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. **Fábrica de vidro de lâmpadas no Brasil.** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <recicla@abividro.org.br> em: 9 abr. 2012.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos-NBR 10005.** Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos: Classificação-NBR 10004.** Rio de Janeiro, 2004b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão Ambiental - **Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura - NBR ISO 14040.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Transporte Terrestre de Resíduos** - ABNT- NBR 13.221. Rio de Janeiro, 2010.

AKATU. **Saiba como descartar objetos que contém mercúrio**. Disponível em: <<http://www.akatu.org.br/Temas/Residuos/Posts/Saiba-como-descartar-objetos-que-tem-mercurio-2>>. Acesso em: 02 dez. 2011.

ALEMANHA. **Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft from 30 July 2002**. Disponível em: <<http://www.gesetze-im-internet.de>>. Acesso em: 05 mar. 2012.

ALEMANHA. **Act Governing the Sale, Return and Environmentally Sound Disposal of Electrical and Electronic Equipment (Electrical and Electronic Equipment Act, or ElektroG). Of 16 March 2005**. Disponível em: <<http://www.gesetze-im-internet.de>>. Acesso em: 18 dez. 2011.

ALEMANHA. **Ordinance on the Avoidance and Recovery of Packaging Wastes (Packaging Ordinance - Verpackungsverordnung - VerpackV) of 21 August 1998, last amended by the Fifth Amending Ordinance of 2 April 2008**. Disponível em: <<http://www.bmu.de>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

ALEMANHA. **Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV). Vom 27 April 2009**. Disponível em: <<http://www.gesetze-im-internet.de>>. Acesso em: 18 dez. 2011.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Resolução nº 420 de 12 fev. De 2004**. Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/1420/Resolucao_420.html>. Acesso em: 04 ago. 2011.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Correlação da portaria 326/06 do INMETRO, resolução ANTT 420/04 e ABNT 10.004/04**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <ouvidoria@antt.gov.br> em: 13 mar. 2012.

ASARI, M.; FUKUI, K; SAKAI, S. Life-cycle flow of Mercury and recycling scenario of fluorescent lamps in Japan. **Science of the Total Environment**, Japan, n. 393, p.1-10, 2008.

AZEVEDO, F. A. de. **Toxicologia do mercúrio**. São Paulo: Rima: InterTox, 2003.

BARROSO, A. P.; MACHADO, V. H. A Gestão Logística dos Resíduos em Portugal. **Investigação Operacional**, Lisboa, n. 25, p. 179-194, 2005.

BARTHEL, N. The new Rare Earths urban mine Rhodia starts an industrial unit for Rare Earths recycling from used low consumption lamps. In: 11th International Electronic Recycling Congress, Salzburg, 2012.

BASTOS, F. C. **Análise da Política de Banimento de Lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro**. 117 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BMU. Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit. Elektro- und Elektronikgeräte in Deutschland: Daten 2008 zur Erfassung, Wiederverwendung und Behandlung. Disponível em: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/daten_elektrogeraete_2007_2008_bf.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2012.

BÓ, M. D.; SILVA, L.; OLIVEIRA, V. de. Fabricação de Vetrosas com a Utilização de Resíduos de Vidro Plano e Vidro de Bulbo de Lâmpadas. **Cerâmica Industrial**, Santa Catarina, v.14, n.4, p.29-33, 2009.

BONMANN, C. Lamp recycling in changing markets. In: 11th International Electronic Recycling Congress, Salzburg, 2012.

BUDAVARI, S. **The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals Drugs and Biologicals**. 11 ed. Rahway: Merck & CO., 1989.

BRASIL. Decreto nº 875, de 19 de julho de 1993. Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 1993.

BRASIL. Portaria IBAMA nº 32, de 12 de maio de 1995. Importação, Produção e Comercialização de Mercúrio Metálico. **Diário Oficial da União**, Brasil, Brasília, DF, 15 mai. 1995.

BRASIL. Lei n. 9.795, de 27 abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 abr. 1999.

BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a lei nº 7802 de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, a rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação e a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 04 jan. 2002.

BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 jul. 2008a.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 401, de 4 de novembro de 2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 05 nov. 2008b.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Orientador para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 dez. 2010a.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010b.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

CAIN, A.; DISCH, S.; TWAROSKI, C.; REINDL, J.; CASE, C. R. Substance Flow Analysis of Mercury Intentionally Used in Products in the United States. **Journal of Industry Ecology**, Chicago, v. 11, n. 3, p. 61–75, 2007.

CARNEIRO, D. M. R. **Da Loucura dos gatos dançantes ao circuito do século XXI: o mercúrio contido nas lâmpadas e a importância da educação no**

processo de gestão ambiental. 176 f. Dissertação de Mestrado (Centro de Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Coleta Seletiva.** Disponível em: < http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php>. Acesso em: 28 out. 2011a.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Eletroeletrônicos.** Disponível em: <<http://cempre.tecnologia.ws/LocaisReciclagem.php>>. Acesso em: 04 dez. 2011b.

COSTA, D. O. **Estudo e Determinação das Características de Lâmpadas de Diferentes Tipos.** 79 f. Dissertação (mestrado)-Universidade do Minho, Departamento de Eletrônica Industrial. Portugal, 2010.

CURITIBA. Lei nº 13.509, de 08 de junho de 2010. Dispõe sobre o Tratamento e Destinação Final Diferenciada de Resíduos Especiais que especifica e dá outras providências correlatas. **Palácio 29 de março**, Curitiba, PR, 08 de junho de 2010. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 18 dez. 2011.

CURITIBA. **Lâmpadas Fluorescentes.** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <limpezapub@smma.curitiba.pr.gov.br> em: 03 mar. 2011.

DM. **Fachgerecht entsorgt.** Disponível em: <http://www.dm-drogeriemarkt.de/cms/servlet/segment/de_homepage/unternehmen/werte-kultur/nachhaltig-handeln/29428/recyclingbox.html>. Acesso em: 08 fev. 2012.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**, 2011. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1990>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

DÓREA, J. G.; BEZERRA, V. L. V. A.; FAJON, V.; HORVAT, M. Speciation of methyl- and ethyl-mercury in hair of breastfed infants acutely exposed to thimerosal-containing vaccines. **Clinica Chimica Acta**, Brasil, v. 412, p.1563–1566, 2011.

DURÃO JÚNIOR, W. A.; WINDMÖLLER, C. C. A Questão do Mercúrio em Lâmpadas Fluorescentes. **Revista Química Nova Escola, Minas Gerais**, n. 28, mai. 2008.

EAR. Elektro-Altgeräte- Register. **Kennzahlen**. Disponível em: <http://www.stiftung-ear.de/service_und_aktuelles/kennzahlen/abholungen_gesamt_>. Acesso em: 08 fev. 2012.

ELC. European Lamp Companies Federation. **About Lamps & Lighting**. Disponível em: <http://www.elcfed.org/1_lighting.html>. Acesso em: 27 out. 2011a.

ELC. European Lamp Companies Federation. **Recycling techniques for fluorescent lamps**. Disponível em: <http://www.elcfed.org/2_health_environment.html#tech>. Acesso em: 16 dez. 2011b.

ELETRORBRAS. **Sinpha Simulador, 2005**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/procel-nfo/Simuladores/LinkSimulator.asp?ServiceInstUID={5A989D5B-1A45-4A3C-9A0F-CFCA56F149FB}&Link=/Sinpha>>. Acesso em: 03 dez. 2011.

ELETRORBRAS. **Relatório resultados Procel 2009 completo web**. Disponível em: <<http://www.eletrorbras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B3D6B5B08-7D10-4FFA-9C6E-79917877F573%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 24 out. 2011.

ELETRORBRAS. **Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia. Revisão III, 2011**. Disponível em: <<http://www.eletrorbras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={95F19022-F8BB-4991-862A-1C116F13AB71}>>. Acesso em: 25 out. 2011.

EPA. Environmental Protection Agency of United States. **Fluorescent Lamp Recycling, 2009**. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 25 out. 2011.

EPA. Environmental Protection Agency. **Mercury, 2010**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/mercury/about.htm>>. Acesso em: 27 out. 2011.

EPA. Environmental Protection Agency. **What to Do if a Compact Fluorescent Light (CFL) Bulb or Fluorescent Tube Light Bulb Breaks in Your Home, 2011**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/cfl/cflcleanup.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

EU-RECYCLING. Das Fachmagazin für den europäischen Recycling market. Glas Klar. Biburg, v. 29, n. 12/11, p. 12-16, dez. 2011.

FORNASARO, A. Aspectos técnicos para a seleção de filtros de carvão ativado. **Grupo Veco, 2010.** Disponível em: <<http://www.veco.com.br/verartigo.php?codigo=16>>. Acesso em: 11 mai. 2012.

GENERAL ELECTRIC COMPANY, John Bennette Jansma, Ohlo Pike Pepper. Fluorescent lamp coating containing rare earths and coating recycling method. Int. Cl. C 09K 11/01, C 03C 17/00, C 03C 17/34, EP 1 126 005 A2. 22 ago. 2001.

GENERAL ELECTRIC COMPANY, Digamber Gurudas Porob, Alok Mani Srivastava, Prasanth Kumar Nammalwar, Gopi Chandran Ramachandran, Holly Ann Comanzo. Rare earth recovery from fluorescent material and associated method. Int. Cl. C01F 5/38, WO 2011/106 167. 01 set. 2011.

GOONAN, T. Rare Earth Elements - End Use and Recyclability. Scientific Investigations Report 2011–5094. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2011.

HERBORN. **Herborn Prospekt.** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <thomas.herborn@system-herborn.de> em: 19 abr. 2012.

HIRAJIMA, T.; BISSOMBOLO, A.; SASAKI, K.; NAKAYAMA, K.; HIRAI, H.; TSUNEKAWA, M. Floatability of rare Earth phosphors from waste fluorescent lamps. **International Journal of Mineral Processing**, Japan, v.77, p. 187-198, 2005a.

HIRAJIMA, T.; SASAKI, K.; BISSOMBOLO, A.; HIRAI, H.; HAMADA, M.; TSUNEKAWA, M. Feasibility of an efficient recovery of rare earth-activated phosphors from waste fluorescent lamps through dense-medium centrifugation. **Separation and Purification Technology**, Japan, v. 44, p. 197–204, 2005b.

HU, Y.; CHENG, H. Mercury risk from fluorescent lamps in China: Current status and future perspective. **Environment International**, 2012. No prelo.

HUANG, G.; SUN, H.; QIU, X.; SHEN, Y.; JIANG, J.; WANG, L. Synthesis, structural characterization of benzimidazole-functionalized Ni(II) and Hg(II) N-heterocyclic carbene complexes and their applications as efficient catalysts for FriedeleCrafts alkylations. **Journal of Organometallic Chemistry**, China, v. 696, p. 2949–2957, 2011.

IBAMA. Nota Informativa nº 36 /2011/COREM/CGQUA/DIQUA. Assunto: **Controle de produção, importação, comercialização e uso de mercúrio no Brasil.** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <otavio.maioli@mma.gov.br> em: 08 mar. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 16 fev. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial Oficial**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 16 fev. 2012.

IEA. International Energy Agency. **Light's Labor's Lost, Policies for Energy-efficient lighting, 2006**. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1695>. Acesso em 20 out. 2011.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia e MDIC. **Regulamento para Avaliação de Conformidade para embalagens utilizadas no transporte de produtos perigosos**. Portaria do INMETRO nº 326, de 11 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001079.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2011.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia. **Portaria do INMETRO nº 441 de 23 de novembro de 2011**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001759.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2011.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia. **Correlação da portaria 326/06 do INMETRO, resolução ANTT 420/04 e ABNT 10.004/04**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <ouvidoria@inmetro.gov.br> em: 23 fev. 2012.

JANG, M.; HONG, S. M.; PARK, J. K. Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps. **Waste Management**, Madison, n. 25, p. 5-14, 2005.

JOHNSON, N. C.; MANCHESTER, S.; SARIN, L.; GAO, Y.; KULAOTS, I.; HURT, R. H. Mercury Vapor Release from Broken Compact Fluorescent Lamps and In Situ Capture by New Nanomaterial Sorbents. **Environment Science Technology**, Rhode Island, v. 42, n. 15, p. 5772-5778, 2008.

LACERDA, L. P. de; LANGE, L. C.; SCHWABE, W.K. III-248- Um estudo sobre o uso de destilação no tratamento de lodo contaminado por mercúrio proveniente de um processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes tubulares. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2004.

LARUCCIA, M. M.; NASCIMENTO, J. V.; DEGHI, G. J.; GARCIA, M. G. A Study of Consumer Behavior on Recycling of Fluorescent Lamps in São Paulo. **International Journal of Business Administration**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 101, 2011.

LEITE, P. R. **Logística Reversa - Meio Ambiente e Competitividade**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LEROY MERLIN. **Responsabilidade Ambiental**. Disponível em: <<http://leroymerlin.com/responsabilidade-ambiental>>. Acesso em: 21 fev. 2012a.

LEROY MERLIN. **Coleta de Lâmpadas Fluorescentes**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <kberlim@leroymerlin.com.br> em: 24 fev. 2012b.

LI, Y.; JIN, L. Environmental Release of Mercury from Broken Compact Fluorescent Lamps. **Environmental Engineering Science**, Mississippi, v.28, n.10, p.1-5, 2011.

LIGHTCYCLE. **Altampen Richtig Entsorgen**. Disponível em: <http://www.lightcycle.de/fileadmin/user_upload/PDF/Sammelstellen-Anweisung.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2012 a.

LIGHTCYCLE. **Rücknahmesystem**. Disponível em: <<http://www.lightcycle.de/>>. Acesso em: 16 fev. 2012 b.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Anuário Estatístico 2011**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1305202942.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2011.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **AliceWeb2. Consultas**. Disponível em: < <http://www.alicewebmercosul.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 22 jan. 2012.

MECA COLETA. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.mecacoleta.com.br/caixa-ecologica-armazenar-lampada-usada-fluorescente-cl-060.php>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

MECA COLETA. **Coletores para Lâmpadas Fluorescentes**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <mecacoleta@gmail.com> em: 15 mar. 2012.

METAL-PAGES. **Rare Earths.** Disponível em: <<http://www.metal-pages.com/metals/europium/metal-prices-news-information/>>. Acesso em: 26 jan. 2012.

MICHELAZZO, P. A. M. **Monitoração da concentração de mercúrio atmosférico na região de Paulínia (SP).** 64 f. Dissertação de Mestrado (Instituto de Química). Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

MICHELIS, I. D.; FERELLA, F.; VARELLI, E. F.; VEGLIÒ, F. Treatment of exhaust fluorescent lamps to recover yttrium: Experimental and process analyses. **Waste Management**, Italy, v.31, p. 2559-2568, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, 2009.** Brasília maio de 2011. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=91>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Coletânea de Informações sobre o Mercúrio incluindo padrões ambientais. 4ª Reunião do Grupo de Trabalho de Lâmpadas Mercuriais. Câmara Técnica de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos do Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2010.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0E732C8D/Transc4oGTLampadasMerc_27jan10.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Brasil inicia processo para instalação da logística reversa.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=ascom.exibe&idLink=8363>>. Acesso em: 10 jun. 2011a.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **MMA defende na ONU rigor na repressão a emissões de mercúrio em água e em solo.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=ascom.exibe&idLink=8719>>. Acesso em: 02 dez. 2011b.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010a** - Regulamentação Específica que Define os Níveis Mínimos de Eficiência Energética de Lâmpadas Incandescentes. Diário Oficial da União nº4, 6 janeiro 2011, ISSN 1677-7042.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Interministerial no- 1.008, de 31 de dezembro de 2010b** - programa de metas de lâmpadas fluorescentes compactas. Diário Oficial da União nº4, 6 janeiro 2011, ISSN 1677-7042.

MOMBACH, V. L.; RIELLA, H. G.; KUHNEN, N. C.; CARVALHO E. F. U. Produção de Fritas Cerâmicas a Partir do Vidro de Lâmpadas Fluorescentes. **17º CBE/MAT- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, 2006.

MOMBACH, V. L.; RIELLA, H. G.; KUHNEN, N. C. O Estado da Arte na Reciclagem de Lâmpadas Fluorescentes no Brasil: Parte 1. **ACTA Ambiental Catarinense**, Trindade, v.5, n. 1/2, p.43-53, 2008.

MUKHERJEE, A. B.; ZEVENHOVEN, R.; BRODERSEN, J.; HYLANDER, L. D.; BHATTACHARYA, P. Mercury in waste in the European Union: sources, disposal methods and risks. **Resources, Conservation and Recycling**, Finland, v. 42, n. 2, p. 155-182, 2004.

NAGAOKA, A. K.; SAMPAIO, C. A. P.; BOFF, C. E.; ARALDI, A. A. R. Desenvolvimento de um coletor solar utilizando reciclagem de lâmpadas fluorescentes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.4, n.2, p.120-125, 2005.

NAIME, R.; GARCIA, A. C. Propostas para o gerenciamento dos resíduos de lâmpadas fluorescentes. **Revista Espaço para a Saúde**, Londrina, v.6, n.1, p. 1-6, 2004.

NEMA. National Electrical Manufacturers Association. **Fluorescent and other Mercury-Containing Lamps and the Environment, 2005**. Disponível em: <<http://www.nema.org/search/results-search.cfm?query=lamp>>. Acesso em: 23 out. 2011.

NORDSIECK, H.; HERTEL, M. **Quecksilberemissionen an Sammelstellen von Altlampen – Szenario Verbrauchermarkt**. Augsburg: bifa Umweltinstitut, 2010a, 3 p. Relatório técnico.

NORDSIECK, H.; HERTEL, M. **Quecksilberemissionen an Sammelstellen von Altlampen – Szenario Verwaltung/öffentl. Gebäude**. Augsburg: bifa Umweltinstitut, 2010b, 3 p. Relatório técnico.

OLIVEIRA, M. R. de; CONCEIÇÃO, C. A. da; DO PRADO, F. O. de; SAMPAIO, M. M.; SOUZA, M. T. S. de. Gerenciamento de Resíduos Tóxicos de Lâmpadas

Fluorescentes. In: V EPG - Encontro Latino Americano de Pós Graduação e IX INIC - Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 2005, São José dos Campos. Programas e Resumos. São José dos Campos: UNIVAP/2005, p. 980-984.

OSRAM. **A Produção Nacional de Lâmpadas**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <m.abrahao@osram.com> em: 31 out. 2011a.

OSRAM. **Catálogo Geral 2011/2012**. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Catalogo_Geral_2011-2012/index.html>. Acesso em: 23 out. 2011b.

OSRAM. **Fábrica de vidro de lâmpadas no Brasil**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <m.abrahao@osram.com> em: 10 abr. 2012.

OSRAM GMBH, Robert Otto, Agnieszka Wojtalewicz-Kasprzak. Method for recovery of rare earths from fluorescent lamps. Int. Cl. C01F 17/00 US 7,976,798 B2. 31 mai. 2007, 12 jul. 2011.

OTSUKI, A.; MEI, G.; JIANG, Y.; MATSUDA, M.; SHIBAYAMA, A.; SADAHI, J.; FUJITA, T. Solid- Solid Separation of Fluorescent Powders by Liquid- liquid Extraction Using Aqueous and Organic Phases. **Resources Processing**, Japan, v. 53, n. 3, p.121-133, 2006.

PACYNA, E. G.; PACYNA, J. M.; SUNDSETH, K.; MUNTHE, J.; KINDBOM, K.; WILSON, S.; STEENHUISEN, F.; MAXSON, P. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020. **Atmospheric Environment**, Norway, v. 44, p. 2487-2499, 2010.

PADAK, B; WILCOX, J. Understanding mercury binding on activated carbon. **Carbon**, United States, v. 47, n.12, p. 2855-2864, 2009.

PAWLOWSKI, L. Effect of Mercury and Lead on the total Environment. **Environmental Protection Engineering**, Poland, v. 37, n.1, p. 105-117, 2011.

PICKERING, T.G.; HALL, J. E.; APPEL, L. J.; FALKNER, B. E.; GRAVES, J.; HILL, M. N.; JONES, D. W.; KURTZ, T.; SHEPS, S. G; ROCCELLA, E. J. Recommendations for Blood Pressure Measurement in Humans and Experimental Animals Part 1: Blood Pressure Measurement in Humans A Statement for Professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. **Circulation, Journal of the American Heart Association**, Dallas, v. 111, p.697-716, 2005.

POLANCO, S.L.C. **A Situação da Destinação Pós-Consumo das Lâmpadas de Mercúrio no Brasil**. 119f. Dissertação (mestrado)-Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2007.

PRESIDENTE da ABILUMI fala sobre a importação de produtos de iluminação e o mercado brasileiro. **Lume Arquitetura**, São Paulo, n. 53, p. 6-10, 2011.

PROFISSIONAIS de logística: mas estratégia, menos operacional. **Logweb**, n.105, p. 20-26, 2010. Disponível em: <<http://www.aslog.org.br>>. Acesso em: 11 mai. 2012.

RABAH, M.A. Recovery of aluminium, nickel–copper alloys and salts from spent fluorescent lamps. **Waste Management**, Egypt, v.24, p. 119- 126, 2004.

RABAH, M. A. Recyclables recovery of europium and yttrium metals and some salts from spent fluorescent lamps. **Waste Management**, Egypt, v.28, p. 318-325, 2008.

RAPOSO, C.; ROESER, H. M. Contaminação ambiental provocada pelo descarte de lâmpadas de mercúrio. **Revista Escola de Minas de Ouro Preto**, Minas Gerais, v. 53, n. 1, p. 61-67, 2000.

RAPOSO, C. **Contaminação ambiental provocada pelo descarte não controlado de lâmpadas de mercúrio no Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia)-Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2001.

RAPOSO, C.; WINDMOLLER, C. C., DURÃO JÚNIOR, W. A. Mercury speciation in fluorescent lamps by thermal release analysis. **Waste Management**, Minas Gerais, n. 23, p. 879–886, 2003.

RAZZOLINI FILHO, E., BERTÉ, R. **O Reverso da Logística e as Questões Ambientais no Brasil**. 1 ed. Curitiba: Ibeplex, 2009.

REY-RAAP, N.; GALLARDO, A. Determination of mercury distribution inside spent compact fluorescent lamps by atomic absorption spectrometry. **Waste Management**, 2011. No prelo.

RHODIA. Rhodia tries its hand at rare earth recycling **Focus on Catalysts**, v. 2011, n.12, p. 4, 2011.

RHODIA OPERATIONS, Jean-Jacques Braconnier, Alain Rollat. Method for recovering rare earth elements, from a solid mixture containing a halophosphate and a compound of one or more rare earth elements. Int. Cl. C01B 25/32 WO 2010/118967 A1. 14 abr. 2009, 21 out. 2010.

RLEC. Reverse Logistics Executive Council. **What is Reverse Logistics?** Disponível em: <<http://www.rlec.org/glossary.html>>. Acesso em: 06 jun. 2011.

ROGERS, D. S., TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council, 1998.** Disponível em: <<http://www.rlec.org/reverse.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2011.

SAMPAIO, M. R. F.; SÁ, J. S. **Diagnóstico da situação de lâmpadas fluorescentes pós-consumo em Pelotas, RS.** Livro de Resumos da 2ª Mostra de Trabalhos de Tecnologia Ambiental, p. 36-39, 2009.

SANCHES, E. S. S. de. Logística reversa de pós-consumo do setor de lâmpadas Fluorescentes. In: V CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 18-22 ago. 2008, Salvador, Bahia, Brasil. **Anais do CONEM**, 2008.

SANTOS, E. do; HERRMANN, A. B.; VIEIRA, F.; SATO, C. S.; CORRÊA, Q. B.; MARANHÃO, T. A.; TORMEN, L.; CURTIUS, A. J. Determination of Hg and Pb in compact fluorescent lamp by slurry sampling inductively coupled plasma optical emission spectrometry. **Microchemical Journal**, Curitiba, v. 96, p. 27–31, 2010.

SCHÜLER, D.; BUCHERT, M.; LIU, R.; DITTRICH, G. S.; MERZ, C. **Study on rare earths and their recycling.** Report for the Greens/EFA Group in European Parliament. Darmstadt, Germany: ÖKO-INSTITUT e. V., january, 2011. 140 p. Relatório Técnico.

SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Desperdício Zero, Programa da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Ano 2005. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=6>>. Acesso em: 22 fev. 2012.

SILVEIRA, G. T. R.; CHANG, S. Fluorescent lamp recycling initiatives in the United States and a recycling proposal based on extended producer responsibility and product stewardship concepts. **Waste Management & Research**, USA, v. 29, n. 6, p. 656-668, 2010.

STAHLER, D.; LADNER, S.; JACKSON H. Maine Department of Environmental Protection . **Maine Compact Fluorescent Lamp Study**. Fevereiro 2008. Disponível em: <<http://www.maine.gov/dep/rwm/homeowner/cflreport.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2011.

STATISTICHES BUNDESAMT. **Pocketbook, 2009a**. Disponível em: <<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/EN/Content/Publicationen/Broschures/Pocketbook,property=file.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2012.

STATISTICHES BUNDESAMT. **Umwelt. Abfallentsorgung 2009b. Fachserie 19, Reihe 1**. Disponível em: <<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publicationen/Fachveroeffentlichungen/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Abfallentsorgung,templateld=renderPrint.psml>>. Acesso em: 08 mar. 2012.

STATISTICHES BUNDESAMT. **Der Zensus 2011**. Disponível em: <<https://www.zensus2011.de>>. Acesso em: 16 fev. 2012.

STATISTICHES BUNDESAMT. **Federal Statistical Office Germany, reference number: 277399 / 366758**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <ulrike.tuerk@-schroeter@destatis.de> em: 24 abr. 2012.

TECHATO, K.; WATTS, D. J.; CHAIPRAPRAT, S. Life cycle analysis of retrofitting with high energy efficiency air-conditioner and fluorescent lamp in existing buildings. **Energy Policy**, Thailand, v. 37, p. 318-325, 2009.

TRAMPPPO. **Coletores de Lâmpadas Fluorescentes**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <pachelli@tramppo.com.br> em: 10 abr. 2012.

UNEP. United Nations Environment Programme. Chemical Branch, DTIE. **The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport. Geneva, Switzerland, 2008**. Disponível em: <http://www.chem.unep.ch/Mercury/Atmospheric_Emissions/UNEP%20SUMMARY%20REPORT%20-20CORRECTED%20May09%20%20final%20for%20WEB%202008.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2011.

UNEP. United Nations Environment Programme. **The Negotiating Process**. Disponível em: <<http://www.unep.org/hazardoussubstances/MercuryNot/MercuryNegotiations/tabid/3320/language/en-US/Default.aspx>>. Acesso em: 05 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 91/689/CEE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de dezembro de 1991, **relativa a resíduos perigosos**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2002/95/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de janeiro de 2003a, **relativa à restrição de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de janeiro de 2003b, **relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, **relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Regulamento (CE) Nº 244/2009 da Comissão, de 18 de março de 2009a, **que dá execução à Diretiva 2005/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita aos requisitos de concepção ecológica para as lâmpadas domésticas não direcionais**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2009/125/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Outubro de 2009b, **relativa à criação de um quadro para definir os requisitos de concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2011/37/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de março de 2011a, **que altera o anexo II da Directiva 2000/53/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos veículos em fim de vida**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de junho de 2011b, **relativa à restrição de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

UTE, K.; TARAO, T.; NAKAO, S.; TATSUKI, K. Preparation and properties of disyndiotactic poly(alkyl crotonate)s. **Polymer**, Japan, v. 44, p. 7869–7874, 2003.

VALLE, O. P. do; MENEZES, J.; REIS, E.; REBELO, E. Reverse Logistics for recycling: The customer service determinants. **Journal of Business Science and Applied Management**, Portugal, v. 4, n. 1, p. 1-16, 2009.

VILAÇA, R. Logística: O Brasil não pode parar! **ABRALOG: Associação Brasileira de Logística**, 2010. Disponível em: <<http://www.aslog.org.br>>. Acesso em: 11 mai. 2012.

XIE, R.; CHEN, B.; QIU, Z.; ZHANG, Y. Reverse Logistics Chain. Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, China, v.6, 2007.

WAGNER, T. P. Compact fluorescent lights and the impact of convenience and knowledge on household recycling rates. **Waste Management**, USA, n. 31, p.1300-1306, 2011.

WHO. World Health Organization. **Preventing Disease Through Healthy Environments. Exposure to Mercury. A Major Public Health Concern**, 2007. Disponível em: <<http://www.who.int/ipcs/features/mercury.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

WHO. World Health Organization. **Mercury**. Disponível em: <http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/en/>. Acesso em: 27 out. 2011a.

WHO. World Health Organization. **Mercury in Health Care**. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/mercury/en/index.html>. Acesso em: 04 dez. 2011b.

ZANGL, S.; QUACK, D.; BROMMER, E. **Lampen in Privathaushalten. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Studie im Rahmen des Projekts „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“**. Feriburg: ÖKO-INSTITUT e. V. PROSA. Gefördert durch: BMU und Klima Schutz, august, 2010. 124 p. Relatório Técnico.

ZVEI. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. **Collection and Recycling of Discharge Lamps**, 2008. Disponível em: <<http://www.zvei.org/Verband/Publikationen/Seiten/Collection-and-Recyccling-of-Discharge-Lamps.aspx>>. Acesso em: 09 fev. 2012.

ZVEI. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. **The fluorescent lamp production in Germany**. [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <pajek@zvei.org> em: 10 abr. 2012.

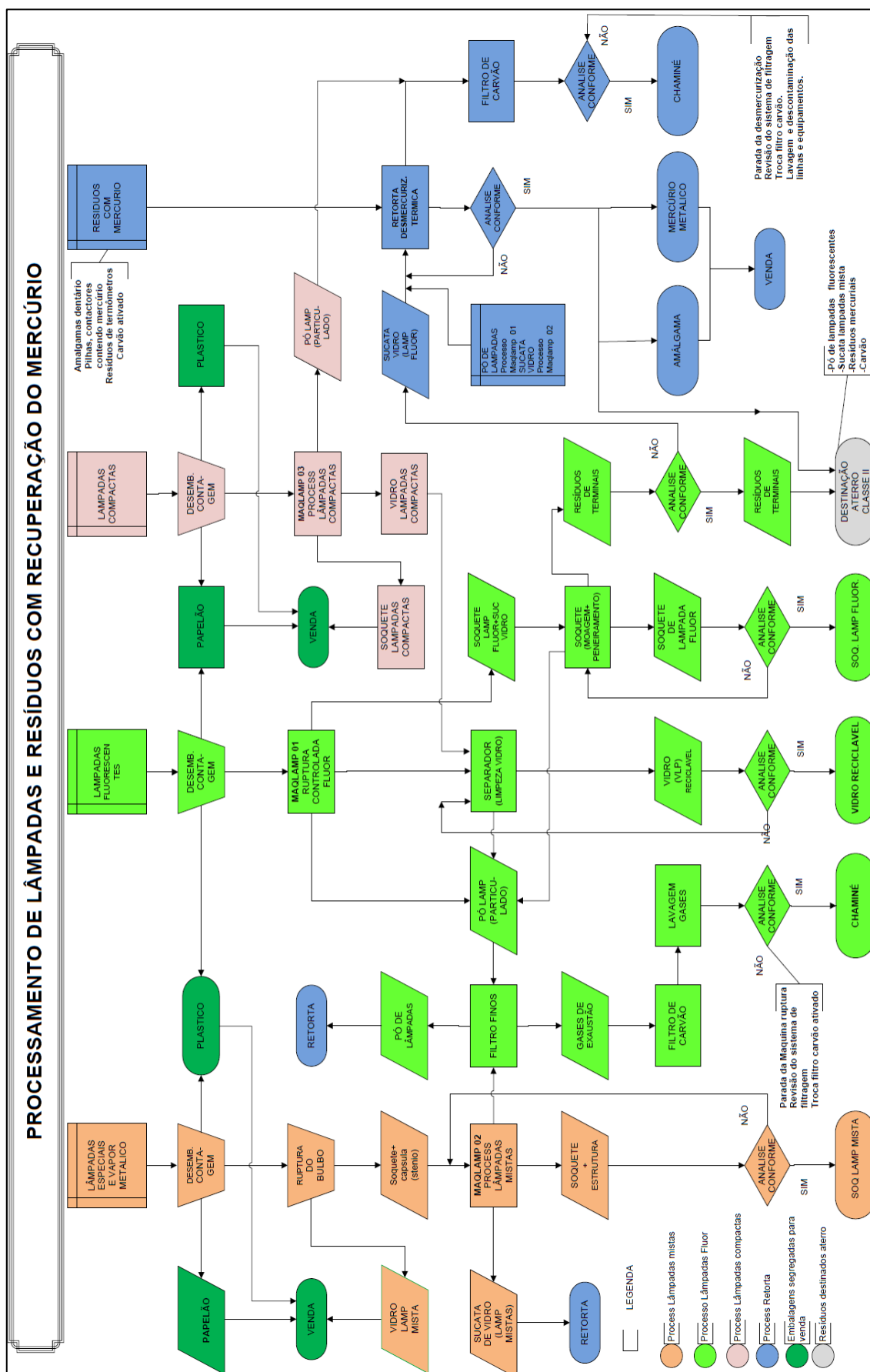
ANEXOS

**ANEXO A – FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO DE LÂMPADAS E RESÍDUOS
COM RECUPERAÇÃO DO MERCÚRIO DA EMPRESA B5**

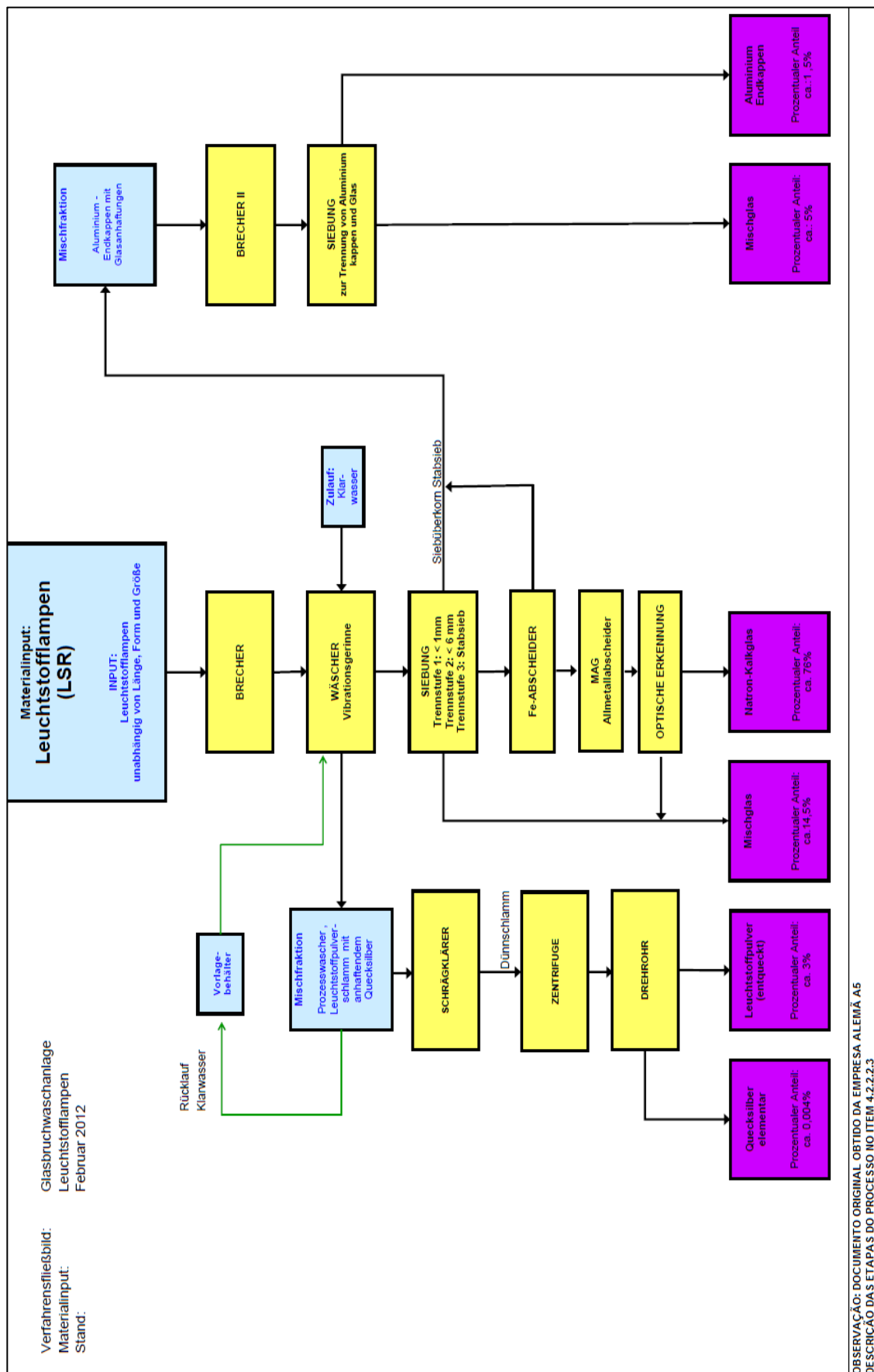
**ANEXO B – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES TUBULARES DA EMPRESA A5**

**ANEXO C – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES COMPACTAS DA EMPRESA A5**

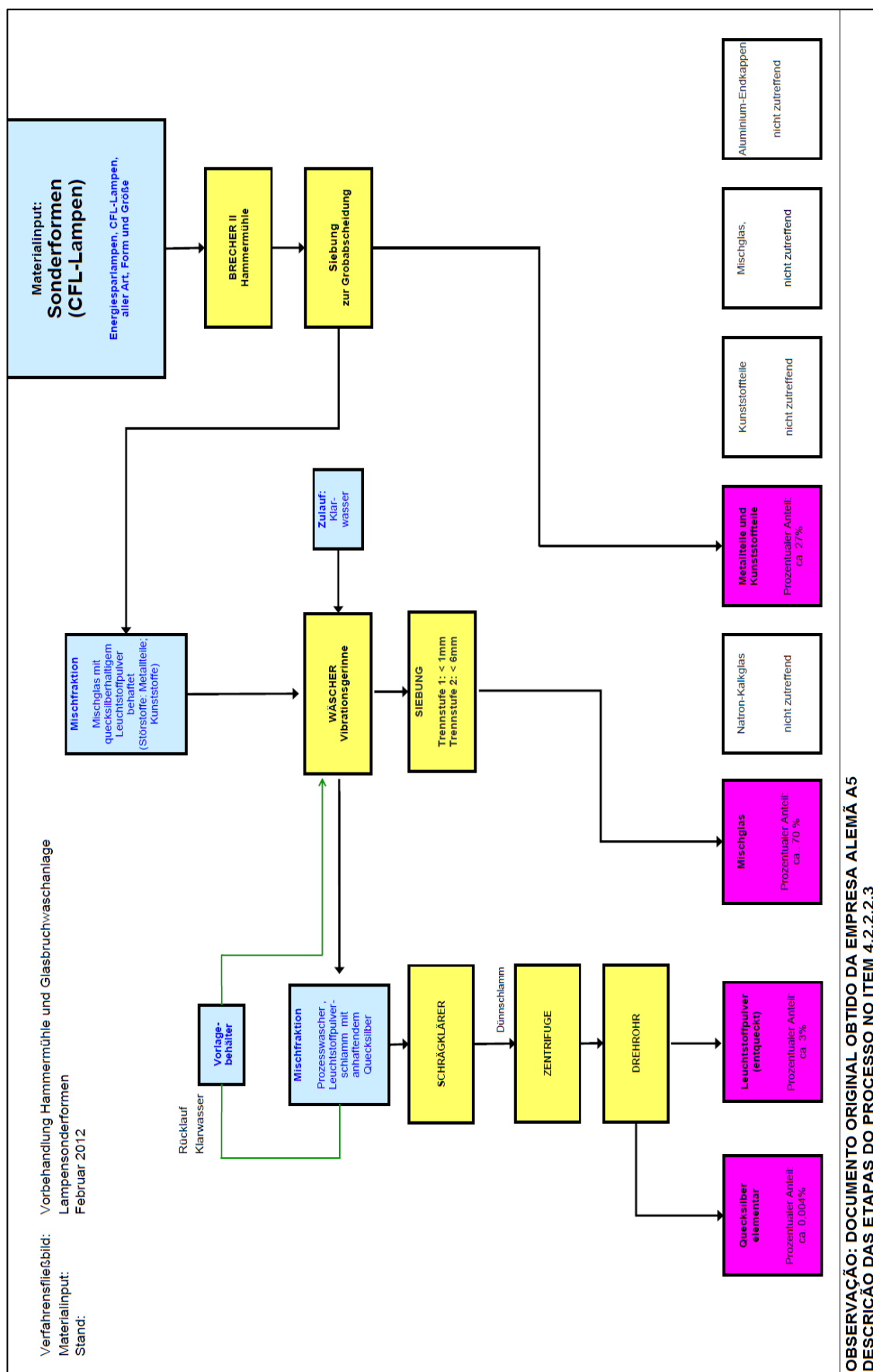
ANEXO A – FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO DE LÂMPADAS E RESÍDUOS
COM RECUPERAÇÃO DO MERCÚRIO DA EMPRESA B5





ANEXO B – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES TUBULARES DA EMPRESA A5



ANEXO C – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES COMPACTAS DA EMPRESA A5



**APÊNDICE - QUESTIONÁRIO DE PESQUISA PARA RECICLADORAS DE
LÂMPADAS FLUORESCENTES**

 		PROGRAMA INTERNACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL- EDUBRAS/MAUI									
Item	PERGUNTAS	RESPOSTAS									
1	Qual a sua participação no mercado de reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil? Qual a capacidade de processamento atual por ano? Existe possibilidade de ampliação da capacidade de processamento? Para quanto?										
2	Quais são os tipos de lâmpadas processadas pela empresa?										
3	Quais são as principais legislações consideradas?										
4	Como as lâmpadas são coletadas? Qual a origem das lâmpadas?										
5	Qual o código ONU utilizado para o transporte?										
6	Existe um coletor padrão? Eles são fornecidos aos clientes?										
7	Os coletores utilizados possuem laudos de ensaios de resistência e de permeabilidade?										
8	Qual a capacidade de cada coletor?										
9	Há um controle/indicadores para a quantidade de lâmpadas que quebram durante o transporte? Qual a média de quebras durante o transporte?										
10	Qual o tipo de processo de reciclagem que é utilizado?	<input type="checkbox"/> Moagem simples	<input type="checkbox"/> Trituração + tratamento térmico	<input type="checkbox"/> Trituração + tratamento químico	<input type="checkbox"/> Sopro+ tratamento térmico	<input type="checkbox"/> Encapsulamento/solidificação	<input type="checkbox"/> Outro:				
11	Quais são os percentuais de cada fração obtidos após o processamento das lâmpadas fluorescentes tubulares?	Vidro de alta qualidade: ____%	Vidro de baixa qualidade: ____%	Alumínio: ____%	Latão/bronze: ____%	Ferro: ____%	Cobre/níquel: ____%	Isolamento baquelítico: ____%	Pó de fósforo: ____%	Mercurio: ____%	
12	Qual é a destinação dada a cada fração obtida da reciclagem de lâmpadas fluorescentes tubulares?	Vidro de alta qualidade:	Vidro de baixa qualidade:	Alumínio:	Latão/bronze:	Ferro:	Cobre/níquel:	Isolamento baquelítico:	Pó de fósforo:	Mercurio:	
13	Quais são os percentuais de cada fração obtidos após o processamento das lâmpadas fluorescentes compactas?	Vidro de alta qualidade: ____%	Vidro de baixa qualidade: ____%	Alumínio: ____%	Ferro e outros metais: ____%	Plástico: ____%	Componentes eletrônicos: ____%	Isolamento baquelítico: ____%	Pó de fósforo: ____%	Mercurio: ____%	
14	Qual é a destinação dada a cada fração obtida da reciclagem de lâmpadas fluorescentes compactas?	Vidro de alta qualidade:	Vidro de baixa qualidade:	Alumínio:	Ferro e outros metais:	Plástico:	Componentes eletrônicos:	Isolamento baquelítico:	Pó de fósforo:	Mercurio:	
15	Qual a pureza do mercúrio obtido?										
16	É necessário controlar a temperatura do processo? Se positivo, qual a temperatura adotada?										
17	É utilizado filtro de carvão ativado? Qual a destinação dada para o filtro de carvão ativado?										
18	Há monitoramento do teor de mercúrio no processo? Em quais etapas é realizado este controle?										
19	Qual o custo aproximado cobrado para reciclagem de uma unidade de lâmpada fluorescente inteira? Há diferença do custo cobrado por lâmpada quebrada? Em caso positivo, qual o custo/kg?										
20	O que é feito no caso de quebra de lâmpadas fluorescentes? Há um procedimento de limpeza? Caso positivo, qual o procedimento adotado?										